



**João Lourenço Narciso Marques**

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

## **Plano de Emergência Interno de Barragens**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Civil – Perfil Construção

Orientador: Professor Doutor João Nuno Sequeira Fernandes

Coorientadora: Professora Doutora Maria da Graça Neves

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Corneliu Cismasiu

Arguente: Prof. Doutor João Gouveia Aparício Bento Leal

Vogal: Prof. Doutor João Nuno Sequeira Fernandes



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro de 2014**



“Copyright” João Lourenço Narciso Marques, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

---

A conclusão deste trabalho não seria possível sem o contributo de todos quantos de alguma forma contribuíram durante a sua execução. Destaco o meu orientador, Professor João Fernandes, que foi incansável no apoio e incentivo em todas as fases. A sua preciosa orientação foi decisiva para a concretização desta dissertação.

Gostaria de estender o agradecimento à Professora Graça Neves, coorientadora desta dissertação, tanto pela prontidão e disponibilidade como pelas sugestões e rigor na revisão do texto.

Quero agradecer também ao Eng.º Tiago Carvalho e Eng.º Gonçalo Delgado, administrador e diretor-geral da empresa Águas da Azambuja respetivamente, pela compreensão e apoio demonstrados, que possibilitaram o progresso da dissertação, ajustando o trabalho desenvolvido na empresa.

Aos meus colegas de executivo da Junta de Freguesia e da direção da Banda de Música, Armando, Madalena, Nuno e José pelo esforço redobrado a que foram obrigados devido à minha fraca assiduidade, principalmente nos últimos tempos.

O último agradecimento, mas não menos importante, é dirigido aos amigos e familiares que me deram força e incentivaram a terminar esta etapa, em especial à Tânia pela paciência e compreensão nos momentos de ausência, ao João Francisco pelo apoio e força transmitidos e também pela revisão dos textos, aos meus pais e irmã pela infinita compreensão e apoio incondicional e à minha tia Fátima pela perseverança e confiança transmitidas que fizeram com que fosse possível concluir esta etapa com sucesso.



## RESUMO

---

A existência de barragens em determinadas secções de um rio conduz, na maioria dos casos, a benefícios locais e regionais tais como a possibilidade de regular o caudal fluvial, a produção de energia eléctrica ou o abastecimento de água às populações ou às atividades agrícolas. Por outro lado, impactos sociais e ambientais negativos e o risco de uma possível rotura encontram-se entre os maiores problemas provocados pela existência dessas estruturas.

No presente documento apresenta-se um estudo relativo ao planeamento de emergência em barragens, mais precisamente aos Planos de Emergência Internos de Barragens.

É efetuada uma análise da legislação nacional relativa ao planeamento de emergência, nomeadamente no que diz respeito ao Plano de Emergência Interno conforme publicado no Regulamento de Segurança de Barragens (Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro).

O trabalho apresentado inclui ainda a sistematização dos principais aspetos que devem ser incluídos no Planeamento de Emergência de Barragens de acordo com a legislação portuguesa, e a comparação com o que é exigido em diferentes países da União Europeia.

Além do trabalho de pesquisa e recolha de informação, analisam-se as principais diferenças entre as metodologias de planeamento de emergências em barragens em Portugal, Espanha, França e Reino Unido, aplicando as diferentes abordagens a um caso de estudo, nomeadamente a Barragem da Bravura.

Para esse caso de estudo, aprofundou-se a componente hidráulica do Plano de Emergência Interno, com a simulação da onda de cheia provocada pela rotura da barragem. A exigência a nível do resultado das simulações para cada país foi comparada.

*“De tous les ouvrages construits par la main humaine, les barrages sont les plus meurtriers.”*

André Coyne, 1952

### **Palavras-chave:**

Planeamento de emergência em barragens

Planeamento de emergência em barragens na Europa

Plano de Emergência Interno

Rotura de Barragens

Cheia induzida por rotura de barragens





## ABSTRACT

---

In most of the cases, the existence of a dam leads to local and regional benefits such as the possibility to control the river flow, the production of electricity or water supply to the population or to agricultural activities. Nevertheless, negative social and environmental impacts and the risk of a possible breach are among the main problems caused by the existence of such structures.

In this work, it's presented a study regarding emergency planning for dams, more precisely the Internal Emergency Plan for Dams.

It's preformed an analysis of the national legislation concerning emergency planning, particularly with regard to the Internal Emergency Plan as published in the Regulation for Dam Safety, appendage to Decree-Law 344/2007 of October 15<sup>th</sup>.

The work presented also includes the classification of the main aspects that should be included in the Internal Emergency Plan in accordance with Portuguese legislation, and the comparison to what is required in different countries of the European Union.

In addition to the research and gathering of information, it's analyzed the main differences between the methodologies of emergency planning in dams in Portugal, Spain, France and the United Kingdom, applying these different approaches to a case study, namely the Bravura Dam.

For this case it's deepened the hydraulic component of the Internal Emergency Plan, with the simulation of the Dam-Break flood, comparing the results obtained.

*“De tous les ouvrages construits par la main humaine, les barrages sont les plus meurtriers.”*

André Coyne, 1952

### **Keywords:**

Reservoir flood plans

Dam safety in Europe

Internal Emergency Action Plans for Dams

Dam Failure

Dam-break flood



# ÍNDICE

---

1.	Introdução.....	1
2.	Âmbito.....	3
3.	Planeamento de Emergência de Barragens.....	5
3.1	Considerações iniciais .....	5
3.2	Âmbito nacional .....	6
3.2.1.	Enquadramento.....	6
3.2.2.	Legislação atual.....	8
3.2.3.	Plano de Emergência Interno em Portugal .....	11
3.3	Âmbito Europeu .....	18
3.3.1.	Espanha .....	18
3.3.2.	Reino Unido .....	26
3.3.2.1.	Organização do planeamento e entidades envolvidas .....	26
3.3.2.2.	Avaliação de Impacto .....	28
3.3.2.3.	Plano Interno (“ <i>On-site Plan</i> ”).....	29
3.3.2.4.	Plano Externo (“ <i>Off-site Plan</i> ”).....	32
3.3.3.	França .....	33
3.4	Análise Comparativa .....	35
4.	Aplicação à Barragem da Bravura.....	39
4.1	Introdução.....	39
4.2	Identificação do dono de obra e responsável pelo Plano de Emergência Interno .....	39
4.3	Descrição geral da barragem .....	39
4.4	Plano de Monitorização e Controlo de Segurança.....	42
4.5	Caracterização do Vale a Jusante da Barragem.....	43
4.6	Identificação dos cenários de acidente considerados .....	44
4.7	Modelação dos cenários escolhidos.....	45
4.8	Caracterização do cenário mais desfavorável.....	46
4.9	Procedimento de avaliação e classificação dos acidentes .....	47
4.10	Identificação dos procedimentos em caso de acidente .....	48
4.11	Identificação dos recursos humanos e técnicos para o alerta ao sistema de Proteção Civil ..	49
4.12	Identificação dos recursos humanos e técnicos para o aviso às populações.....	49
4.13	Exercícios de simulacro e ações de sensibilização da população.....	51
5.	Simulação da Onda de Cheia.....	53
5.1	Introdução.....	53
5.2	Modelo para simulação da onda de cheia.....	54
5.3	Dados de entrada do modelo .....	55
5.3.1.	Caracterização topográfica .....	55
5.3.2.	Rugosidade dos leitos principal e de cheias .....	55
5.3.3.	Condições de fronteira.....	55
5.3.4.	Hidrograma de cheia induzida pela rotura da barragem.....	56
5.4	Dados de Saída .....	57
5.4.1.	Cenário 1 – Rotura parcial da barragem.....	58
5.4.2.	Cenário 2 – Cheia natural extrema .....	60
5.5	Cenários adicionais.....	62
5.6	Definição da área de inundação e do zonamento de risco .....	62

6.	Considerações Finais.....	65
6.1	Conclusões .....	65
6.2	Proposta de trabalhos futuros .....	66
	Anexo 1 – Grandes barragens em Portugal .....	73
	Anexo 2 – Mapas de Inundação .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2.1 – Rotura da barragem de Malpasset (adaptada de Sá, 2008). .....	4
Figura 3.1 – Esquema representativo dos regulamentos de segurança e de normas de barragens em Portugal. ....	7
Figura 3.2 – Entidades envolvidas em barragens. ....	9
Figura 3.3 – Esquema do planeamento de emergência de barragens. ....	10
Figura 3.4 – Excerto de mapa de inundação do PEI da barragem do Monte da Rocha (Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado, 2010). ....	12
Figura 3.5 – Fluxograma de notificação e alerta às entidades responsáveis (adaptada de ANPC e INAG, 2009). ....	17
Figura 3.6 – Fluxograma de comunicação em caso de emergência (adaptado de Guia Técnica para la elaboración de los Planes de Emergencia de Presas, 2001). ....	22
Figura 4.1 – Albufeira da Barragem da Bravura. ....	40
Figura 4.2 – Vista da Barragem da Bravura. ....	41
Figura 4.3 – Exemplo de caracterização do vale a jusante da Barragem da Bravura. ....	44
Figura 4.4 – Mapa de inundação do vale a jusante da Barragem da Bravura com o cenário mais desfavorável. ....	47
Figura 4.5 – Fluxograma de notificação e alerta às entidades responsáveis no caso da Barragem da Bravura. ....	49
Figura 4.6 – Zonamento da responsabilidade do aviso à população em caso de emergência em Portugal. ....	50
Figura 4.7 – Zona limite do aviso sob responsabilidade do Dono de Obra por País. ....	50
Figura 5.1 – Hidrograma de cheia induzida no cenário de rotura da Barragem da Bravura (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014). ....	56
Figura 5.2 – Secções de cálculo com interesse para o estudo (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014). ....	58
Figura 5.3 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial da Barragem. ....	59
Figura 5.4 – Mapa de inundação máxima referente ao cenário de cheia natural extrema. ....	61
Figura 5.5 – Zonamento de risco no vale a jusante de barragens (adaptado de Viseu, 2006). ....	63
Figura A1.1 – Número de grandes barragens existentes em Portugal por ano. ....	75
Figura A1.2 – Grandes barragens por tipo em Portugal. ....	75
Figura A2.1 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 30 minutos. ....	79

Figura A2.2 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 60 minutos. ....	79
Figura A2.3 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 90 minutos. ....	80
Figura A2.4 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 120 minutos. ....	80
Figura A2.5 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 150 minutos. ....	81
Figura A2.6 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 180 minutos. ....	81
Figura A2.7 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 210 minutos. ....	82
Figura A2.8 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 240 minutos. ....	82

## ÍNDICE DE QUADROS

---

Quadro 2.1 – Exemplos de acidentes em barragens. ....	3
Quadro 3.1 – Bibliografia consultada para cada país. ....	5
Quadro 3.2 – Organização esquemática do Regulamento de Segurança de Barragens.....	8
Quadro 3.3 – Definição dos níveis de Alerta (adaptado de ANPC e INAG, 2009). ....	15
Quadro 3.4 – Análise da Segurança da Barragem. ....	19
Quadro 3.5 – Características da rotura em função do tipo de barragem. ....	20
Quadro 3.6 – Zonamento territorial e análise dos riscos gerados por rotura da barragem. ....	21
Quadro 3.7 – Normas de atuação. ....	21
Quadro 3.8 – Organização.....	23
Quadro 3.9 – Relações de comunicação do Diretor do PEP. ....	23
Quadro 3.10 – Meios e recursos. ....	24
Quadro 3.11 – Estrutura do Plano de Emergência de Barragens.....	25
Quadro 3.12 – Estrutura da Avaliação de Impacto (adaptado de <i>Engineering guide to emergency planning for UK reservoirs, 2006</i> ).....	28
Quadro 3.13 – Estrutura do <i>Standard Analysis Scenario</i> (adaptado de <i>Engineering guide to emergency planning for UK reservoirs, 2006</i> ).....	29
Quadro 3.14 – Estrutura de um Plano Interno (adaptado de <i>Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs, 2006</i> ). ....	30
Quadro 3.15 – Estrutura de um Plano Externo (adaptado de <i>Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs, 2006</i> ). ....	32
Quadro 3.16 – Critérios para a simulação de cheias induzidas. ....	35
Quadro 3.17 – Comparação dos aspetos principais dos Planos de Emergência por país. ....	36
Quadro 4.1 – Cálculo dos requisitos de obrigatoriedade de realização de Planos de Emergência Internos.....	40
Quadro 4.2 – Informação descritiva da barragem a indicar em cada país. ....	41
Quadro 4.3 – Cenários a considerar com as diferentes metodologias. ....	44
Quadro 4.4 – Critérios para a modelação da onda de cheia por país.....	45
Quadro 4.5 – Relação entre situações resultante de inspeção e Níveis de Alerta. ....	48
Quadro 4.6 – Exemplo de procedimentos em caso de acidente para a Barragem da Bravura. ....	48

Quadro 5.1 – Etapas na modelação da onda de cheia.....	53
Quadro 5.2 – Características da inundação para várias secções de cálculo (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014). ....	60
Quadro 5.3 – Quadro exemplificativo com população e bens atingidos pela onda de inundação no cenário mais desfavorável (metodologia Reino Unido). ....	64



## LISTA DE ACRÓNIMOS E SIGLAS

---

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
CDOS	Centro Distrital de Operações de Socorro
CECOPI	<i>Centro de Coordinación Operativa Integrado</i> – Espanha
CNPGB	Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens
DGOHCA	<i>Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Agua</i> – Espanha
EA	<i>Environmental Agency</i> – Reino Unido
EDP	Eletricidade de Portugal
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i> – Internacional
INAG	Instituto da Água
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LRF	<i>Local Resilience Forum</i> – Espanha
NMC	Nível de Máxima Cheia
NPA	Nível de Pleno Armazenamento
PEI	Plano de Emergência Interno
PEE	Plano de Emergência Externo
PEP	<i>Planes de Emergencia de Presas</i> – Espanha
PPI	<i>Plans Particuliers d'Intervention pour les Barrages</i> – França
RSB	Regulamento de Segurança de Barragens
SMPC	Serviço Municipal de Proteção Civil
SNPC	Serviço Nacional de Proteção Civil
ZAS	Zona de Auto-Salvamento
ZIP	Zona de Intervenção Principal



# 1. INTRODUÇÃO

---

A água é um recurso natural que representa 75% da massa existente no nosso planeta. É, no entanto, um bem limitado, uma vez que se estima que apenas 2,5% de toda a água existente seja doce.

A água doce utilizada ou com potencial de utilização pode existir, por exemplo, em lagos, rios ou em aquíferos subterrâneos. A água superficial necessita, muitas vezes, de ser armazenada em albufeiras ou reservatórios. A utilização de aquíferos subterrâneos requer, muito frequentemente, a realização de furos de captação.

A construção de uma barragem tem como objetivos, de uma forma geral, facultar benefícios locais e regionais tais como a possibilidade de regularização do caudal fluvial, a produção de energia elétrica ou o abastecimento de água às populações ou às atividades agrícolas. Do lado negativo, impactos sociais e ambientais e o risco de uma possível rotura encontram-se entre os maiores problemas provocados pela existência das barragens [e.g. Kurunc *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007].

O tema da presente dissertação centra-se neste último aspeto – o risco de uma possível rotura – nomeadamente com o que se relaciona com o planeamento de emergência em barragens, conforme publicado no Regulamento de Segurança de Barragens (Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro). Esse documento aborda a segurança da barragem nas diversas fases ao longo da vida das obras, sendo um dos temas o planeamento de emergência e a preparação eficaz da resposta a situações de emergência com vista à proteção da vida de pessoas, bens e do ambiente.

O principal objetivo desta dissertação consiste na perceção e sistematização dos principais aspetos que devem ser incluídos nos Planos de Emergência Internos de barragens de acordo com a legislação portuguesa e a comparação com o que é exigido em diferentes países da União Europeia. Para a obtenção de informação, além de contactos pessoais, foram consultados documentos legislativos, regulamentos e casos de estudo dos respetivos países. A comparação entre o que acontece nos diversos países foi efetuada, entre outros, ao nível da exigência, detalhe ou informação e resultados necessários.

Complementariamente a esse trabalho de comparação foi realizada uma análise da informação necessária e foram detetadas as principais dificuldades e as metodologias a aplicar num caso real, nomeadamente a Barragem da Bravura. Para esse caso aprofundou-se a componente hidráulica do Plano de Emergência Interno, com a simulação da onda de cheia provocada pela rotura da barragem.

A estrutura da dissertação teve como objetivo apresentar a informação da forma mais simples e organizada possível. Assim o documento divide-se em 6 capítulos.

No *Capítulo 1, Introdução*, introduz-se o tema da dissertação, enquadrando o mesmo com dados e informações práticas relativas a barragens bem como com a legislação em vigor em Portugal. Apresenta-se ainda, no presente capítulo, o enquadramento do trabalho realizado, a estrutura do documento e as principais conclusões.

No *Capítulo 2, Âmbito*, entra-se com maior detalhe no tema da dissertação, apresentando informação concreta referente a questões de segurança relacionadas com barragens, tais como os danos provocados na sequência de acidentes.

No *Capítulo 3, Planeamento de Emergência de Barragens*, é feito um enquadramento da legislação referente ao planeamento de emergência de barragens em Portugal e em alguns países Europeus, desde os primeiros diplomas legais até à atualidade. O capítulo compreende ainda uma descrição detalhada do Regulamento de Segurança de Barragens. Também neste capítulo é apresentada a legislação nos diversos países analisados. A finalizar este capítulo é realizada uma análise crítica através da comparação, para os diversos países, dos principais elementos relacionados com o planeamento de emergência.

No *Capítulo 4, Plano de Emergência Interno da Barragem da Bravura*, apresentam-se as linhas gerais de um Plano de Emergência Interno para a Barragem da Bravura, com a estrutura prevista na legislação Portuguesa, apresentando as diferenças que existem nos planos de emergência dos países analisados em cada um dos capítulos.

No *Capítulo 5, Simulação da onda de cheia*, aprofunda-se o subcapítulo do Plano de Emergência Interno referente à simulação da onda de cheia e apresentam-se as ondas de cheia que resultam da aplicação de uma simulação hidráulica realizada com diferentes metodologias.

No *Capítulo 6* são apresentadas as principais conclusões e apontam-se trabalhos futuros.

O trabalho que se apresenta nesta dissertação, nomeadamente o que se apresenta nos capítulos 4 e 5, foi desenvolvido com a colaboração do LNEC, o qual forneceu alguns dos elementos necessários para desenvolvimento do caso de estudo.

## 2. ÂMBITO

As barragens consistem em estruturas construídas no leito de rios, que criam uma barreira de retenção de água, com objetivos diversos, que vão desde a regularização de caudal ao armazenamento de água a montante para fazer face à escassez de água em períodos de seca ou à produção de energia elétrica.

A construção de uma barragem, apesar dos aspetos positivos inerentes à sua existência, traz também alguns aspetos negativos, como o impacto ambiental em toda a zona da albufeira. Por vezes é necessário a deslocalização de povoações inteiras, como foi o caso da Aldeia da Luz na albufeira da barragem do Alqueva em 2002. Para além deste impacto direto e inevitável a montante da barragem, existe o risco para as populações a jusante, as quais ficam vulneráveis à ocorrência de problemas na barragem que provoquem uma rotura parcial ou total da barragem.

A presente dissertação incide sobre um dos aspetos mais relevantes a ter em conta na construção de barragens – a segurança. Devido à sua importância existe regulamentação no âmbito do quadro legislativo nacional que adiante será alvo de análise detalhada.

Sendo a segurança uma preocupação geral dos governos e entidades responsáveis pela construção de barragens, existem, em grande parte dos países Europeus, Estados Unidos da América, Canadá e outros países desenvolvidos com longo historial na construção de barragens, legislação sobre o tema da segurança em barragens. Nela são descritas, de forma detalhada, as normas para mitigar o risco de ocorrência de acidentes.

Desde o início da construção de barragens que são reportados acidentes com estas obras. No Quadro 2.1 apresentam-se alguns dos acidentes ocorridos no século XX, bem como as suas causas e principais consequências.

Quadro 2.1 – Exemplos de acidentes em barragens.

<b>Acidente</b>	<b>País</b>	<b>Ano</b>	<b>Principais causas</b>	<b>Principal consequência</b>
Barragem de Malpasset	França	1959	Falha geológica Condições da fundação mal conhecidas (cf. Figura 2.1)	423 Vítimas
Barragem de Vajont	Itália	1963	Deslizamento de terras para a albufeira	2000 Vítimas
Barragem de Teton	EUA	1976	Infiltração de água no corpo da barragem, levando à sua rotura	11 Vítimas
Barragem de Macchu II	Índia	1979	Cheia devido a precipitação intensa. Descarregador de cheias com vazão insuficiente.	5000 Vítimas

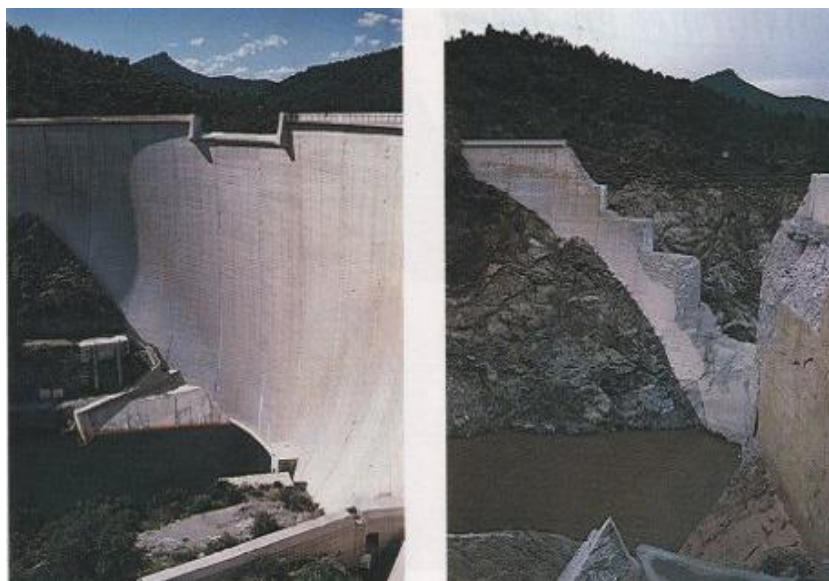


Figura 2.1 – Rotura da barragem de Malpasset (adaptada de Sá, 2008).

Para prevenir a ocorrência de acidentes e reduzir o risco na eventualidade de qualquer falha, existe em Portugal legislação específica sobre o tema da segurança em barragens, nomeadamente o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), publicado no Decreto-lei 344/2007 de 15 de Outubro. Este documento apresenta, entre outros, o planeamento de emergência de barragens, nomeadamente nos artigos 45º a 56º.

Dentro desse planeamento, o tema principal que será analisado em detalhe no decorrer da presente dissertação prende-se com o Plano de Emergência Interno, correspondente ao *documento, da responsabilidade do dono de obra, relativo à segurança da albufeira e do vale a jusante na zona de auto-salvamento*<sup>1</sup>. Este documento tem de ser aprovado pela Autoridade Nacional de Segurança de Barragens (que, atualmente, corresponde à Agência Portuguesa do Ambiente, APA), após parecer positivo da Autoridade Nacional da Proteção Civil (ANPC).

---

<sup>1</sup> Definida no subcapítulo 3.2.3 da presente dissertação.

### 3. PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA DE BARRAGENS

---

#### 3.1 Considerações iniciais

Um dos objetivos da presente dissertação prende-se com a análise e comparação do quadro legislativo português, nomeadamente no que diz respeito às exigências do planeamento de emergência de barragens, com o quadro legislativo de diversos países da Europa.

Neste âmbito, são abordados os principais aspetos dos regulamentos de segurança de barragens a nível nacional e europeu. O resumo e sistematização destes regulamentos baseou-se na informação legislativa disponível e em documentos de ajuda à implementação dos mesmos (guias, procedimentos, artigos, exemplos de aplicação, etc.).

Os principais documentos analisados no âmbito do quadro legislativo português foram:

- *Regulamento de Segurança de Barragens (RSB, Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro de 2007)* e
- *Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens* da autoria do Núcleo de Riscos e Alerta da ANPC e Divisão de Segurança de Barragens do INAG (ANPC e INAG 2009).

No que diz respeito aos regulamentos de âmbito europeu, foram recolhidas informações junto das autoridades responsáveis dos respetivos países e foram estabelecidos contactos com entidades e/ou individualidades que possibilitaram esse conhecimento.

Apesar dos contactos estabelecidos e de se ter efetuado pesquisa para diversos países fora do continente europeu, como os Estados Unidos, Canadá ou Brasil, após análise preliminar da informação disponível e tendo em consideração o âmbito da presente dissertação, optou-se por analisar apenas alguns países europeus. Com isto pretendeu-se ter informação com base sólida e disponível nas páginas oficiais das entidades legislativas ou de regulação.

Os países analisados foram Espanha, França e Reino Unido. No Quadro 3.1 apresenta-se a principal bibliografia consultada para cada um dos países analisados e que serviram de guia para a elaboração do presente capítulo.

Quadro 3.1 – Bibliografia consultada para cada país.

País	Principal bibliografia consultada	Entidade responsável pela aprovação do PEI
Espanha	Guía Técnica para la elaboración de los Planes de Emergencia de Presas (Ministerio de Medio Ambiente, 2001)	Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas
França	Guide de lecture des études de dangers des Barrages (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'aménagement du territoire, 2008)	Préfet de Région
Reino Unido	Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs (Department for Environment Food and Rural Affairs, 2006)	Environment Agency

## 3.2 Âmbito nacional

### 3.2.1. Enquadramento

A legislação existente em Portugal relativa à construção e exploração de barragens teve origem em 1968 através do Regulamento de Pequenas Barragens de Terra, consubstanciado nos Decretos n.º 48 373 e 48 643, respetivamente, de 8 de Maio de 1968 e de 23 de Outubro de 1968.

O regulamento de Pequenas Barragens de Terra foi substituído, em 1993, pelo Regulamento de Pequenas Barragens, anexo ao Decreto-Lei n.º 409/93, de 14 de Dezembro.

O surgimento de regulamentação para pequenas barragens antes das grandes barragens poderá dever-se ao incremento na construção de pequenas barragens na década de 60, sobretudo para regadio. De acordo com o entendimento das entidades responsáveis na altura, pelo facto de apresentarem reduzidas dimensões havia tendência para simplificar os estudos, projetos e cuidados de construção.

Com a publicação do Regulamento de Segurança de Barragens, anexo ao Decreto-Lei n.º 11/90, de 6 de Janeiro, as exigências legais de controlo de segurança foram estendidas às barragens de maiores dimensões.

Para a boa execução do Regulamento de Segurança de Barragens foram estabelecidas normas de projeto de barragens e normas de observação e inspeção de barragens, nos termos das Portarias n.º 846/93 e 847/93, de 10 de Setembro, assim como normas de construção de barragens, nos termos da Portaria n.º 246/98, de 21 de Abril.

O Regulamento de Segurança de Barragens em vigor desde 1990 foi alvo de uma revisão detalhada por parte da Subcomissão do Regulamento de Estudo e Construção de Barragens, existente desde 1960, e integrada na Comissão de Revisão e Instituição dos Regulamentos Técnicos, a funcionar junto do Conselho Superior de Obras Públicas. Essa comissão era constituída por membros que se encontravam ligados ou representavam diversas entidades públicas e instituições de ensino ligadas ao ramo energético, hidráulica, engenharia, segurança e ambiente.

Na revisão efetuada foram mantidas as entidades envolvidas na aplicação das disposições regulamentares e, de um modo geral, o modelo de organização das atividades de controlo de segurança. Um dos objetivos foi o de tornar mais simples e eficiente a aplicação do Regulamento ao longo da vida das obras, quer para os donos de obra, quer para as outras entidades envolvidas. Pretendeu-se também articular as intervenções das diferentes entidades envolvidas, tendo em vista facilitar a cooperação entre elas e otimizar as suas capacidades.

Esta revisão teve em consideração os comentários e sugestões de alteração que, desde então, foram propostos por diversas entidades e resultou no documento em vigor atualmente, o **Decreto-lei 344/2007**, no qual se apresenta o **Regulamento de Segurança de Barragens (RSB)**.

Na Figura 3.1 apresenta-se um esquema dos vários diplomas legais publicados em Portugal, relacionados com barragens, independentemente das suas características, organizados cronologicamente, desde 1968, data da publicação do primeiro regulamento, até 15 de Outubro de 2007, data em que foi publicado o regulamento atualmente em vigor.



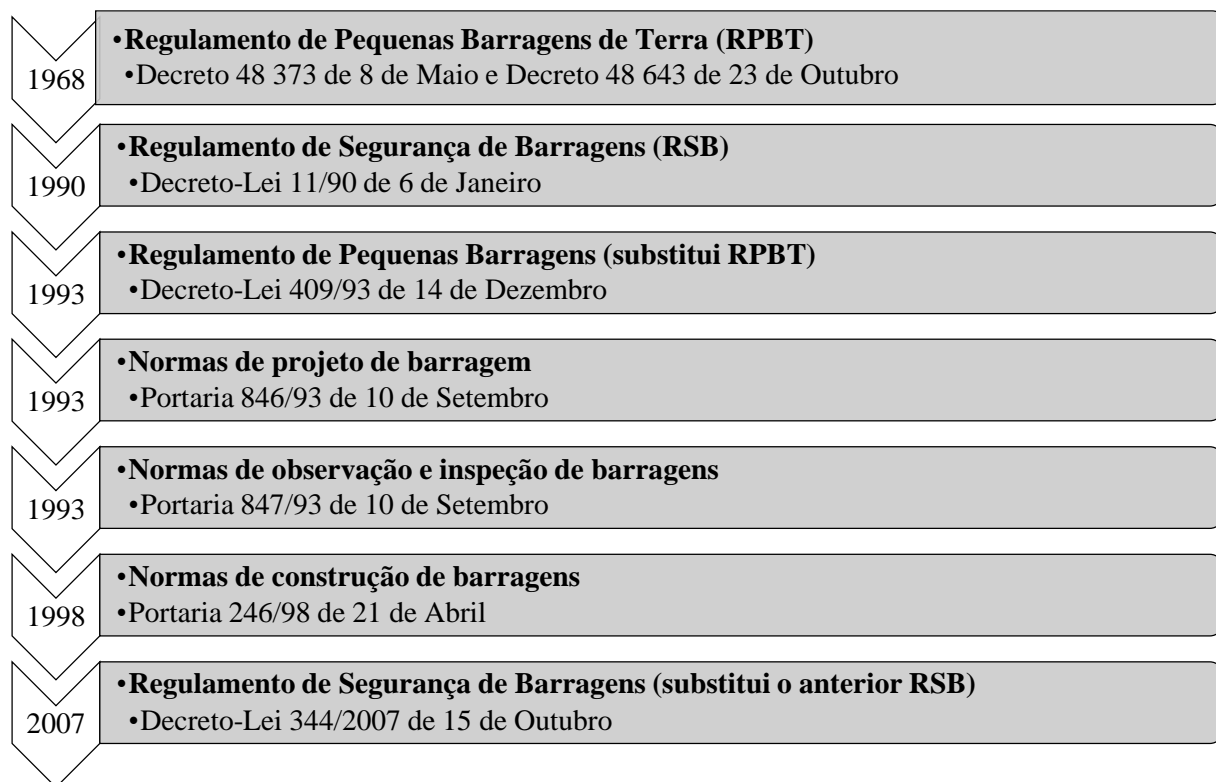


Figura 3.1 – Esquema representativo dos regulamentos de segurança e de normas de barragens em Portugal.

Este novo regulamento de segurança de barragens aplica-se aos seguintes dois grupos de barragens:

- Grandes barragens, de altura igual ou superior a 15 m, ou barragens de altura igual ou superior a 10 m cuja albufeira tenha capacidade superior a 1 000 000 m<sup>3</sup>;
- Barragens de altura inferior a 15 m que, não estando incluídas no grupo anterior, tenham uma albufeira com capacidade superior a 100 000 m<sup>3</sup>.

De acordo com estes critérios existem 170 grandes barragens em Portugal [Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, CNPGB 2009]. No *Anexo 1* apresenta-se um resumo destas barragens analisando-se as datas de construção e o tipo de barragem. Pela análise das figuras apresentadas nesse anexo verifica-se que a maioria das grandes barragens foi construída posteriormente a 1950, apresentando, desde então, um ritmo de crescimento aproximadamente constante de cerca de 2,4 barragens/ano. No que diz respeito ao tipo de barragem, cerca de 50% das barragens são de aterro, 29% de betão por gravidade e 11% de betão em arco. Este levantamento foi iniciado pela Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens, em 1992, aquando da edição da publicação intitulada *Large Dams in Portugal*, aproveitando a informação que já existia mencionada no Registo Mundial de Barragens elaborado pela *ICOLD (International Commission on Large Dams)*. Essa organização publica regularmente boletins técnicos sobre diversas matérias relacionadas com barragens. A informação disponibilizada pela *ICOLD* é considerada uma fonte de informação credível e rigorosa, servindo de base para diversos estudos e publicações relacionadas com o tema de barragens.

A informação existente na publicação *Large Dams in Portugal* tem sido atualizada com base no contínuo aprofundamento do conhecimento das barragens existentes e com a introdução de dados relativos à construção de novas barragens, estando disponível para consulta numa página da Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens [[http://cnpgb.apambiente.pt/gr\\_barragens/gbportugal](http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal)].

Nessa página web, estão disponíveis informações sobre todas as cerca de 170 barragens, que vão desde a sua localização, características hidrológicas, características da barragem e da albufeira, dimensionamento dos descarregadores e produção de energia.

Pela análise realizada à informação disponível conclui-se que as grandes barragens em Portugal se encontram, de uma forma geral, bem cadastradas e com descrições bastante completas.

### 3.2.2. Legislação atual

O Regulamento de Segurança de Barragens divide-se em 4 capítulos, os quais se subdividem em 10 secções, pelas quais estão organizados os 56 artigos que compõem o regulamento, conforme se apresenta no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Organização esquemática do Regulamento de Segurança de Barragens.

<b>Capítulo I – Disposições Gerais</b>	
<b>Secção I</b>	Objeto, âmbito e definições
<b>Secção II</b>	Organização e controlo de segurança
<b>Capítulo II – Controlo de Segurança</b>	
<b>Secção I</b>	Controlo de segurança na fase de projeto
<b>Secção II</b>	Plano de Observação
<b>Secção III</b>	Controlo de segurança na fase de construção
<b>Secção IV</b>	Controlo de segurança durante o primeiro enchimento
<b>Secção V</b>	Controlo de segurança durante a fase de exploração
<b>Secção VI</b>	Controlo de segurança nos casos de abandono e demolição
<b>Capítulo III – Medidas de Proteção Civil</b>	
<b>Secção I</b>	Disposições gerais
<b>Secção II</b>	Plano de emergência
<b>Capítulo IV – Disposições complementares e transitórias</b>	

O *Capítulo I, Disposições Gerais*, divide-se em duas secções. A secção 1 introduz o Regulamento de Segurança de Barragens através da definição do seu objeto, âmbito e apresentação de uma listagem com definições de diversos termos que constam do regulamento. Apresenta ainda, no artigo 3º as classes em que se agrupam as barragens para efeito do regulamento. Na secção 2 são indicadas quais as principais entidades envolvidas na organização do controlo de segurança das barragens, as quais se apresentam na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Entidades envolvidas em barragens.

Na secção 2 são definidas as competências de cada uma destas entidades estruturadas por fases da vida da obra, desde a fase de projeto até ao abandono, passando pelo primeiro enchimento e exploração.

No *Capítulo 2, Controlo de Segurança*, são enunciados os requisitos de segurança e o controlo a realizar nas várias fases da vida da barragem, dividindo-se por 6 secções, cada uma delas respeitante a uma das seguintes fases: *Projeto; Plano de Observação; Construção; Primeiro Enchimento; Exploração* e por fim *Abandono*. Em cada uma das secções são indicados os documentos necessários no âmbito do controlo e segurança e as entidades responsáveis pela execução, revisão, implementação e fiscalização. Neste capítulo são ainda estabelecidas normas relativas a regras de segurança, tais como observação, monitorização e registo de alterações na barragem e albufeira.

O *Capítulo 3, Medidas de Proteção Civil*, divide-se em duas secções. Na *Secção 1, Disposições Gerais*, é indicada a classe I como a classe de barragens onde é obrigatória a aplicação do planeamento de emergência e quais as responsabilidades das diversas entidades. A classificação das barragens é realizada em função dos danos potenciais provocados por uma onda de cheia correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável. A classe I é aquela onde existe um número de residentes em número igual ou superior a 25 na região passível de ser afetada pela onda de cheia.

Na Figura 3.3 apresenta-se um esquema da organização do planeamento de emergência de barragens em Portugal conforme previsto no RSB.

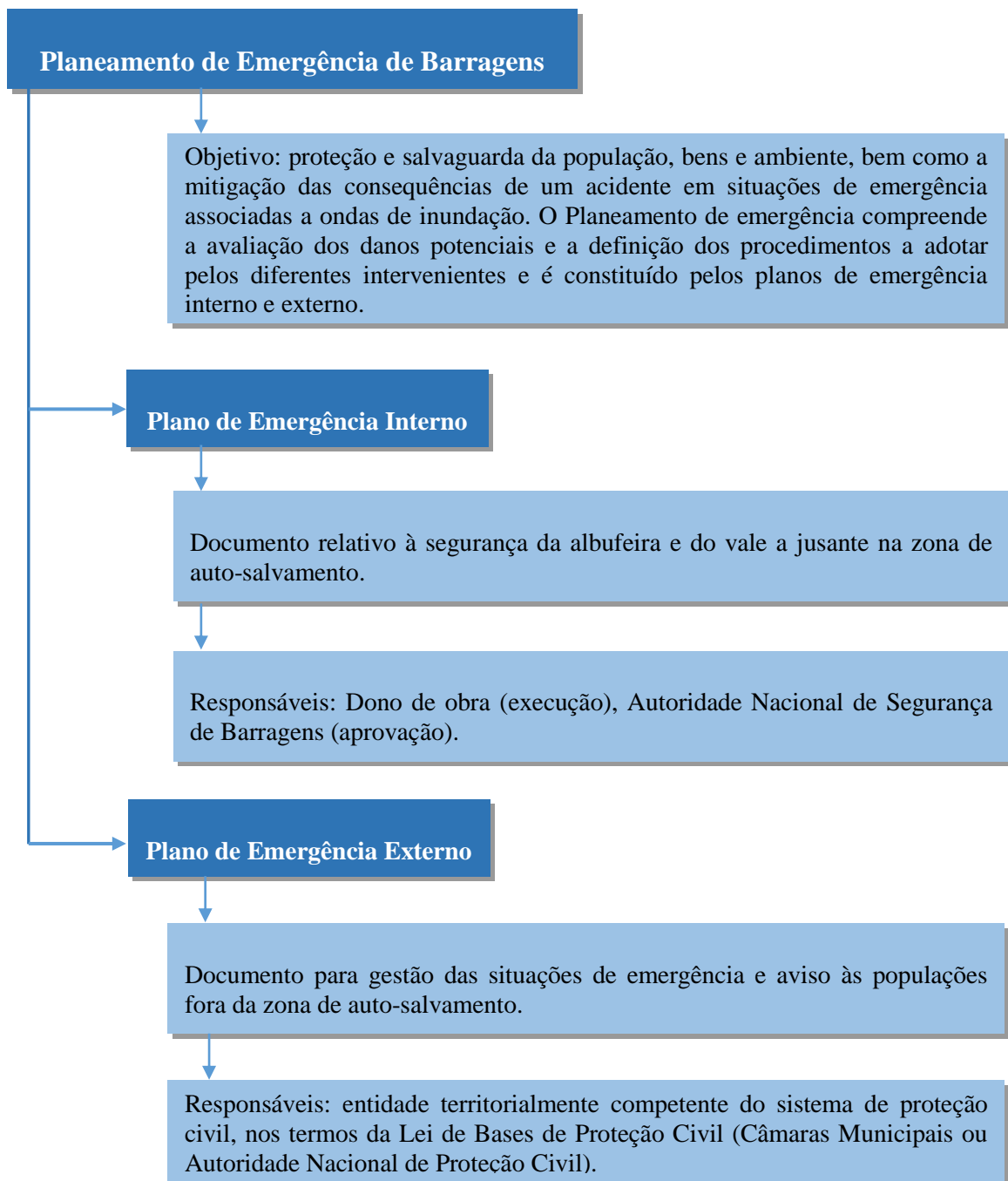


Figura 3.3 – Esquema do planeamento de emergência de barragens.

Ainda no capítulo 3 do RSB é definido o objetivo do planeamento de emergência e quais os procedimentos a adotar pelos diferentes intervenientes, sendo feita a primeira distinção entre Plano de Emergência Interno e Plano de Emergência Externo.

O Plano de Emergência Interno, sendo o tema central desta dissertação irá ser abordado em detalhe ao longo deste documento. O Plano de Emergência Externo, de acordo com a definição contida na legislação portuguesa é “o plano de emergência especial de proteção civil, da responsabilidade da entidade territorialmente competente do sistema de proteção civil, nos termos da Lei de Bases de Proteção Civil”, o qual visa a gestão das situações de emergência e aviso às populações fora da zona de auto-salvamento.

São ainda apresentadas definições referentes a sistemas de aviso e alerta bem como descrição dos procedimentos gerais do planeamento de emergência, o qual será abordado com maior detalhe no capítulo seguinte.

A *Secção 2* refere-se aos *Planos de Emergência*, mais concretamente nos artigos 50º ao 52º é abordado o tema principal da dissertação: *Plano de Emergência Interno*.

No capítulo final, *Capítulo 4, Disposições complementares e transitórias* são indicadas as normas de anteriores publicações que se devem continuar a aplicar, devidamente revistas para que sejam corretamente enquadradas no RSB, no artigo 55º.

No capítulo 56º são apresentados os prazos máximos para entrega de proposta de atribuição de classe à barragem e avaliação da conformidade da barragem com as exigências do RSB relativamente a barragens da mesma classe. No caso de existência de não conformidades, são indicados os prazos para a apresentação de medidas corretivas ou procedimentos alternativos. São também apresentadas as penalidades em caso de incumprimento que poderão passar pela suspensão da exploração do aproveitamento ou o abandono.

### **3.2.3. Plano de Emergência Interno em Portugal**

O Plano de Emergência Interno (PEI) aparece definido no RSB como “*o documento da responsabilidade do dono de obra, relativo à segurança da albufeira e do vale a jusante na zona de auto-salvamento*” (ZAS). Tal como referido, este documento tem de ser aprovado pela Autoridade Nacional de Segurança de Barragens (APA), após parecer positivo da Autoridade Nacional da Proteção Civil.

A ZAS é a zona do vale, imediatamente a jusante da barragem, na qual se considera não haver tempo suficiente para uma adequada intervenção dos serviços e agentes de proteção civil em caso de acidente. Mais concretamente é a zona atingida pela onda de inundação resultante de um cenário de acidente, nos primeiros 30 minutos. A extensão mínima da ZAS é de 5 km.

O PEI é obrigatório para todas as barragens de classe I, ou seja, onde existe um número de residentes em número igual ou superior a 25 na região passível de ser afetada pela onda de cheia. Das cerca de 170 barragens que são abrangidas pelo Regulamento de Segurança de Barragens, estima-se que cerca de 150 são de classe I [Sá, 2008].

No PEI, de acordo com o RSB, deve constar a seguinte informação:

- Indicação do técnico, designado pelo dono de obra, responsável pela ativação desse plano em situação de emergência;
- Descrição e caracterização da barragem, incluindo a albufeira e o vale a jusante, bem como os acessos à barragem e aos órgãos de segurança e exploração;
- Principais cenários de acidente considerados no projeto e no controlo de segurança da barragem, associados com o tipo de barragem e as características da zona envolvente;
- Mapas de inundação com a caracterização hidrodinâmica das ondas de inundação para os cenários de acidente considerados, incluindo o cenário de colapso da barragem e, sempre que se justifique, cenários de descargas em fase de exploração, com delimitação da zona de auto-salvamento e dos limites administrativos dos distritos e concelhos e, eventualmente, das freguesias;
- Caracterização das populações, bens e ambiente em risco nas zonas afetadas pela onda de cheia, para o cenário de acidente mais desfavorável;

- Procedimentos de avaliação e classificação da situação relativa a cenários de acidente, com base nos níveis de alerta tipificados pela ANPC e pela Autoridade;
- Identificação dos recursos humanos e especificação dos meios técnicos com vista ao alerta aos serviços de proteção civil em caso de acidente, bem como dos procedimentos a seguir, com definição da ordem pela qual os serviços de proteção civil devem ser alertados;
- Identificação dos recursos humanos e especificação dos meios técnicos com vista ao aviso à população afetada na zona de auto-salvamento em caso de acidente, bem como procedimentos de aviso, incluindo a tipificação das mensagens ou sinais para rápida evacuação, devidamente aprovados pela ANPC;
- Plano de ação, com identificação dos procedimentos a adotar em caso de acidente.

Os mapas de inundação relativos a cada cenário de acidente devem indicar, para cada aglomerado populacional ou bem material ou ambiental a preservar, os instantes de chegada da frente e do pico da onda de cheia, os níveis máximos atingidos em termos de cota e altura da onda, a velocidade máxima, o caudal máximo e o tempo de duração da fase crítica da inundação.

Na Figura 3.4 é apresentado um exemplo de representação das inundações provocadas pelos cenários de rotura e de descarga máxima da barragem do Monte da Rocha.

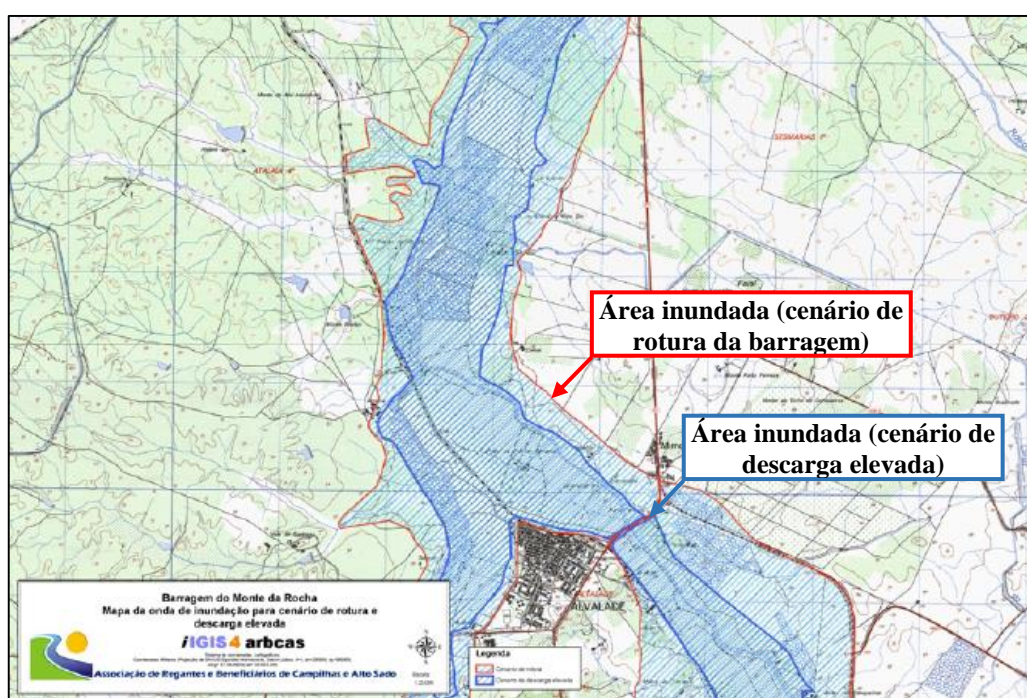


Figura 3.4 – Excerto de mapa de inundação do PEI da barragem do Monte da Rocha (Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado, 2010).

O plano de emergência interno deve articular-se com o controlo de segurança da barragem e com o plano de emergência externo e deve ser aprovado até ao início do primeiro enchimento da albufeira.

O PEI deve ser atualizado pelo dono de obra quando se verifique alguma das seguintes situações:

- Ocorrência de um acidente;
- Sequência de alterações significativas na ocupação do vale;
- Sequência de nova informação adquirida em exercícios ou resultante da evolução dos

conhecimentos;

- Após 20 anos de exploração da barragem.

Cada atualização do plano de emergência interno tem que ser aprovado pela Autoridade, após parecer da ANPC.

Em Junho de 2009, a Autoridade Nacional de Proteção Civil e o Instituto da Água publicaram um caderno técnico com o título *Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens*, com o objetivo de auxiliar as entidades responsáveis pela elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens e demais entidades envolvidas na segurança de barragens a elaborar o referido documento conforme definido pelo Regulamento de Segurança de Barragens.

O guia fornece orientações sobre os critérios a adotar na elaboração dos planos de emergência internos de barragens (ANPC e INAG, 2009), tendo por base, para além da legislação referida anteriormente, a experiência acumulada por ambas as entidades como resultado da análise de planos de emergência internos já elaborados.

Em ANPC e INAG (2009) propõe-se a seguinte estrutura para um PEI:

### **Capítulo 1 – Identificação do Dono de Obra e do responsável pelo PEI**

Informação relevante no que respeita a identificação, contactos e morada, referente ao dono de obra e ao técnico responsável pelo PEI (deverá ser o técnico responsável pela exploração da barragem).

### **Capítulo 2 – Descrição geral da barragem**

A informação necessária para a descrição geral da barragem é:

- Localização;
- Tipologia;
- Data de construção;
- Capacidade de armazenamento total e útil;
- Nível de Pleno Armazenamento;
- Nível de Máxima Cheia;
- Nível Mínimo de Exploração;
- Fins a que se destina;
- Informação sobre a existência de barragens a montante e a jusante e suas características;
- Existência e localização do Posto de Observação e Controlo;
- Sistema de alimentação elétrica;
- Acessos à barragem e aos órgãos de segurança e exploração;
- Meios e recursos afetos em situação de rotina e de emergência.

### **Capítulo 3 – Plano de Monitorização e Controlo de Segurança**

- Caracterização geral dos sistemas de monitorização dos níveis hidrométricos, afluências à albufeira e caudais descarregados;
- Apresentação do sistema de controlo e segurança estrutural da barragem, implementado de

acordo com o Plano de Observação.

#### **Capítulo 4 – Caracterização do vale a jusante da barragem**

Caracterização geral do vale a jusante da barragem com a descrição das populações e infraestruturas em risco, onde se deve incluir uma caracterização geral da zona envolvente da albufeira da barragem.

Os aspetos que deverão ser considerados para avaliação são:

- Tipo de povoamento;
- N° de habitantes;
- Tipo de ocupação social;
- Infraestruturas importantes;
- Áreas naturais com estatuto de proteção especial;
- Património com interesse histórico.

#### **Capítulo 5 – Identificação dos cenários de acidente considerados**

Projeção de possíveis cenários, envolvendo acidentes potenciais na barragem, que afetem a segurança e o ambiente do vale a jusante ou na envolvente da albufeira. Deverão considerar-se, no mínimo, dois cenários, sendo um de rotura e um de operação para a situação de ocorrência de cheia de projeto do descarregador de cheia.

#### **Capítulo 6 – Modelação dos cenários escolhidos**

Para cada um dos cenários considerados no capítulo anterior deverá ser efetuado um estudo contendo:

- A caracterização hidrodinâmica da onda de cheia sobre cartografia 1:25000 ou maior escala nas zonas urbanas e industriais dentro da ZAS. Esta caracterização deverá ser realizada até à secção de jusante a partir da qual exista uma barragem ou curso de água com capacidade para encaixe ou escoamento da cheia de rotura sem impactes significativos. Deverão ser indicadas as características da onda de cheia para cada cenário e a sua implantação no mapa com a seguinte informação, relativa a cada perfil:
  - Instante de chegada da frente da onda de cheia (em formato 00H00M);
  - Instante de chegada do pico da onda de cheia (em formato 00H00M);
  - Nível máximo de cheia atingido (altura e cota);
  - Duração da cheia (em formato 00H00M);
  - Velocidade máxima da onda de cheia (m/s);
  - Caudal máximo atingido (m<sup>3</sup>/s);
  - Hidrograma com a representação gráfica do comportamento hidrodinâmico (caudal e altura) da onda de cheia em função do tempo;
  - Identificação do modelo e *software* utilizados e metodologia aplicada;
  - Apresentação dos dados de entrada e saída do modelo.
- Caracterização da Zona Inundável sobre cartografia igual à anterior, com identificação do cenário a que corresponde, delimitação das zonas inundáveis, delimitação da ZAS, limites



administrativos, vias de comunicação afetadas, listagem de infraestruturas relevantes ou de produção ou armazenagem de substâncias perigosas. A caracterização deverá ser efetuada até à secção referida no ponto anterior.

## Capítulo 7 – Caracterização do cenário mais desfavorável

Depois de realizada a caracterização referida anteriormente, com o conhecimento da altura e velocidade de propagação da onda em cada troço e do seu tempo de chegada, existe capacidade para efetuar um zonamento do risco por diferentes graus de gravidade.

Para o cenário mais desfavorável deve ser realizado um levantamento das infraestruturas privadas, públicas, sociais e coletivas afetadas, povoações afetadas com estimativa do número de pessoas atingidas e indicação das Estruturas do Sistema de Proteção Civil afetadas. Este levantamento deve ser apresentado até à secção da ZAS mais a jusante.

## Capítulo 8 – Procedimento de avaliação e classificação dos acidentes

Com o objetivo de avaliar os riscos decorrentes de qualquer situação de emergência, deve existir no PEI uma divisão das situações de emergência por grau de gravidade, correspondendo cada um dos graus a um nível de alerta, para o qual devem ser tomadas medidas específicas conforme Quadro 3.3, o qual deverá ser ajustado em função das condições específicas de cada barragem.

Quadro 3.3 – Definição dos níveis de Alerta (adaptado de ANPC e INAG, 2009).

Nível de Alerta	Situação	Medidas a tomar pelo dono de obra
<b>Azul Nível 0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Situação normal de rotina, ou</li> <li>Deteção de anomalias na barragem ou outros eventos que não comprometam a segurança estrutural da barragem e dos seus órgãos operacionais nem inviabilizem o seu sistema de observação</li> </ul>	Medidas internas de resolução da anomalia ou incidente
<b>Amarelo Nível 1</b>	<p><u>Situação 1</u> – Descargas elevadas por gestão operacional, ou</p> <p><u>Situação 2</u> – Existência de anomalias ou eventos que possam vir a comprometer a segurança estrutural e/ou operacional da barragem ou os meios de observação e controlo da barragem, admitindo-se eventuais efeitos moderados a jusante da barragem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Deteção de anomalias nos elementos estruturais da barragem ou no sistema de observação/monitorização</li> <li>b) Existência de problemas nas fundações</li> <li>c) Existência de atividade sísmica</li> <li>d) Existência de outros eventos com incidência sobre a segurança da barragem</li> </ul>	<p>Medidas internas de resolução da anomalia ou incidente</p> <p><b>Alerta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Serviços de Proteção Civil</li> <li>– Autoridade (APA)</li> </ul> <p><b>Aviso:</b></p> <p>Situação 1 - sinal de descarga</p> <p>Situação 2 - divulgação de informação às populações imediatamente a jusante</p>
<b>Laranja Nível 2</b>	<p><u>Situação 1</u> – Ocorrência de cheias com elevado período de retorno, ou</p> <p><u>Situação 2</u> – Situação com alta probabilidade de acidente, em que se admite não ser possível controlar a situação, afetando o vale a jusante da barragem, devido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Deteção de anomalias graves nos elementos operacionais das barragens ou nos elementos estruturais da barragem</li> <li>b) Existência de problemas graves nas fundações</li> </ul>	<p><b>Alerta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Serviços de Proteção Civil</li> <li>– Autoridade (APA)</li> </ul> <p><b>Aviso:</b></p> <p>Situação 1 - sinal de descarga</p> <p>Situação 2 - sinal de evacuação às populações imediatamente a jusante</p>
<b>Vermelho Nível 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Situação de catástrofe inevitável (iminência de rotura da barragem)</li> <li>Rotura da barragem</li> </ul>	<p><b>Alerta:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Serviços de Proteção Civil</li> <li>– Autoridade (APA)</li> </ul> <p><b>Aviso:</b> sinal de evacuação às populações imediatamente a jusante</p>

Além da existência do quadro referido, sugere-se o desenvolvimento de tabelas que relacionem situações resultantes da inspeção visual da barragem e da albufera com o nível de alerta e ações a implementar.

Conforme referido anteriormente, o PEI é aprovado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), após parecer da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC). O parecer da ANPC incidirá sobretudo sobre o sistema de aviso e alerta das populações em função do nível de emergência definido pelo Dono de Obra. Nesse sentido, surgiu a necessidade de definir critérios para a especificação do sistema de alerta e aviso de barragens, as quais se encontram num documento elaborado pelo Serviço Nacional de Bombeiros e Proteção Civil (atual ANPC) e o Instituto da Água (atual APA), com o título *Normas para a Conceção do Sistema de Alerta e Aviso no Âmbito dos PEI de Barragens*.

De acordo com o RSB, o **sistema de alerta** é o conjunto organizado de recursos humanos e meios técnicos que tem por funções informar os serviços e agentes de proteção civil face à iminência, ocorrência ou evolução de uma situação de emergência. O **sistema de aviso** é o conjunto organizado de recursos humanos e meios técnicos que tem por função informar a população da área eventualmente afetada na iminência, ocorrência ou evolução de uma situação de emergência.

A responsabilidade pela implementação do sistema de aviso e alerta é do Dono de Obra, sendo o aviso na zona de auto-salvamento assegurado pelo mesmo. Fora dessa zona cabe aos serviços de proteção civil. Os meios técnicos do sistema têm de estar permanentemente operacionais, independentemente das circunstâncias de emergências que ocorrem, pelo que deverão situar-se fora da zona inundada, devendo existir garantias de continuidade do fornecimento de energia elétrica que permitam o funcionamento com igual eficiência em qualquer nível de alerta. Devem ainda evitar-se a ocorrência de falsos alarmes e deve-se ter a capacidade de garantir a redundância, auto-verificação e o seu funcionamento em situações excecionais.

Neste capítulo, deverão igualmente ser definidas as características do Posto de Observação e Controlo (POC), no qual situar-se-á o Centro de Comunicações assim como toda a documentação relativa ao PEI. Podem decorrer outras atividades de exploração normal no POC, desde que não interfiram com a gestão da emergência. Os critérios segundo o qual o POC deve ser desenvolvido são:

- a) Implantação em zona próxima da barragem, mas segura em caso de emergência;
- b) Acesso ao POC permanentemente garantido;
- c) Garantia de alimentação elétrica aos equipamentos de comunicação e controlo;
- d) Espaço útil do POC e a sua compartimentação deverão permitir uma gestão e controlo adequados das situações de emergência.

## **Capítulo 9 – Identificação dos procedimentos em caso de acidente**

Estabelecimento das funções de cada interveniente, onde se destaca a identificação do responsável pela ativação do PEI.

Apresentação das medidas de atuação, em caso de acidente, no que respeita às comunicações a todos os intervenientes a nível interno e externo (fluxograma ou tabelas).

## Capítulo 10 – Identificação dos recursos humanos e técnicos para o alerta ao sistema de Proteção Civil

Definição e contactos das entidades a alertar em caso de emergência, quem é responsável por esse alerta, e de que modo é feito. Essa cadeia de comunicação deverá ser apresentada num fluxograma, semelhante ao apresentado na Figura 3.5.

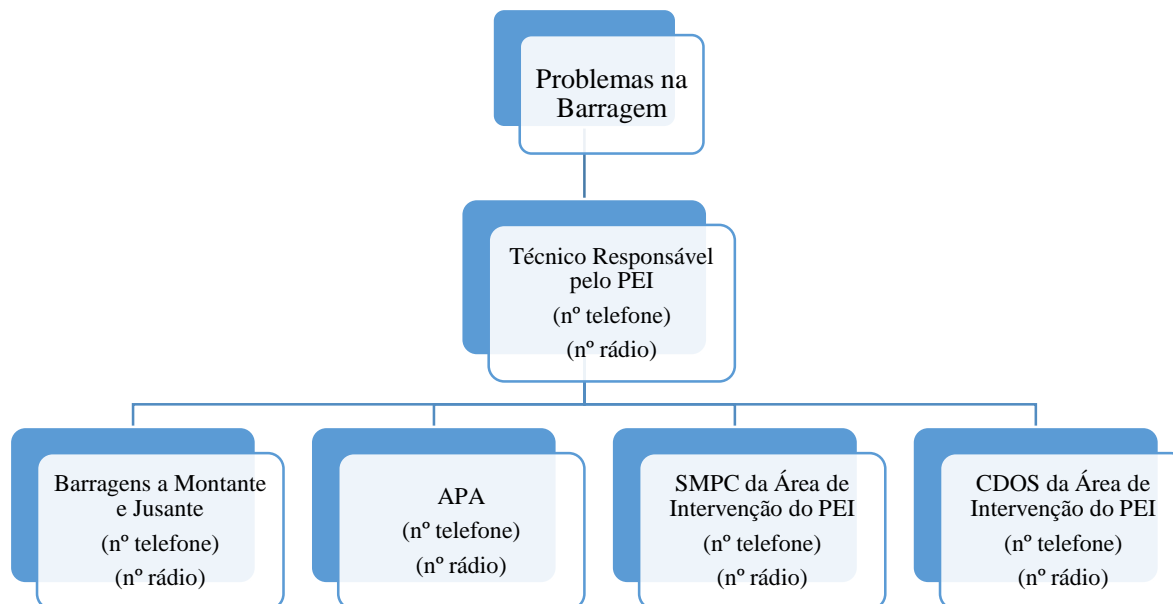


Figura 3.5 – Fluxograma de notificação e alerta às entidades responsáveis (adaptada de ANPC e INAG, 2009).

Durante a elaboração do PEI, o dono de obra deverá contactar com o Comando Distrital de Operações de Socorro (CDOS) e Serviço Municipal de Proteção Civil (SMPC) da ZAS da barragem de modo a definir os aspetos relacionados com o alerta e aviso.

## Capítulo 11 – Identificação dos recursos humanos e técnicos para o aviso às populações

Identificação da extensão de aviso e quais os meios humanos e técnicos necessários para efetuar o aviso às populações em caso de emergência (sirenes, viaturas com megafones, entre outros).

A decisão de avisar deverá ser tomada pelo dono de obra em conjunto com o SMPC.

Existe um documento orientador desenvolvido pelo Serviço Nacional de Bombeiros e Proteção Civil (atualmente ANPC) e o INAG (atual APA) com o título *Normas para a Conceção do Sistema de Alerta e Aviso no Âmbito dos PEI de Barragens*, onde se indica que, preferencialmente, deverão ser utilizadas sirenes e se especifica os tipos de aviso a emitir consoante o tipo de emergência.

## Capítulo 12 – Exercícios de simulacro e ações de sensibilização da população

Indicação da periodicidade de realização de exercícios de simulacro, os quais deverão ser realizados de forma coordenada com as entidades de proteção civil da ZAS. Identificação dos cenários a simular.

Deverá existir um documento orientador sobre a sensibilização e autoproteção das populações da ZAS.

### 3.3 Âmbito Europeu

#### 3.3.1. Espanha

Em Espanha, devido ao clima peculiar existente na Península Ibérica, com precipitações irregulares ao longo do tempo, existe desde muito cedo a tradição de construir barragens. Existem, atualmente, mais de 1300 barragens, o que o torna no país europeu com maior número de barragens por habitante, com uma densidade de 2,4 barragens por 1000 km<sup>2</sup> e 30 barragens por 1 milhão de habitantes.

Em matéria de segurança em barragens, em Espanha a legislação em vigor está contida nos seguintes documentos:

- *La Directriz Básica de Planificación Civil ante el Riesgo de Inundaciones* (Boletín Oficial del Estado de 14 de Fevereiro de 1995)
- *El Reglamento sobre seguridad de presas y embalses* (Boletín Oficial del Estado de 30 de Março de 1996)

O regulamento aplica-se às grandes barragens, definidas pelas que têm:

- Altura superior a 15 m
- Altura entre 10 e 15 m e:
  - Comprimento de coroamento superior a 500 m
  - Volume de albufeira superior a 1 hm<sup>3</sup>
  - Capacidade de descarga superior a 2000 m<sup>3</sup>/s

Em ambas as disposições legais é obrigatório, por parte dos titulares das barragens, propor a sua classificação em função do risco potencial em caso de rotura ou falha no funcionamento. Essa classificação deverá ser feita em três categorias:

- A – aquelas cuja rotura ou funcionamento incorreto pode afetar gravemente núcleos urbanos ou serviços essenciais ou produzir danos materiais ou ambientais importantes;
- B – aquelas cuja rotura ou funcionamento incorreto pode provocar danos materiais ou ambientais importantes ou afetar um número reduzido de habitações;
- C – as restantes.

O planeamento de emergência de barragens, será apresentado sob a forma de 3 documentos que compõem o *Plan de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*. Estes documentos são o Plano de Emergência de Barragens (*Planes de Emergencia de Presas, P.E.P.*), o Plano Estatal e o Plano de Comunidade Autónoma.

O documento que incide sobre o planeamento de emergência interno da barragem é o P.E.P., cuja entidade responsável pela elaboração é o dono da barragem e a sua aprovação é emitida pela *Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas (D.G.O.H.C.A.)*, do Ministério do Meio Ambiente, com relatório prévio da *Comisión Nacional de Protección Civil*, ou pelos órgãos das comunidades autónomas com competências sobre o domínio público hidráulico para as barragens localizadas em bacias hidrográficas intracomunitárias, com relatório prévio, neste caso, da *Comisión de Protección Civil* da Comunidade Autónoma em questão.

O PEP é obrigatório para as barragens das categorias A e B.

No regulamento é apresentado o conceito de Segurança Ativa, que passa pelo estabelecimento de mecanismos e procedimentos que permitam, por um lado, a deteção atempada de situações de risco e as medidas a tomar para as mitigar, e por outro, caso falhem as medidas anteriores e ocorra rotura total ou parcial da estrutura, permitam reduzir os efeitos sobre as vidas humanas, serviços e meio ambiente.

De acordo com o estabelecido no capítulo 3.5. da *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil*, o planeamento de emergência de barragens fundamenta-se em três pontos principais:

- Elaboração e implantação dos planos de emergência de barragens por parte dos titulares das mesmas;
- Deve basear-se nas ações previstas no Plano Estatal, nos Planos de Comunidades Autónomas e de Atuação Municipal para proteção de pessoas e bens que perante essa eventualidade poderão ser afetadas.
- Estabelecimento de sistemas de notificação de incidentes e de alerta que permitam, à população e às organizações dos planos que correspondam intervir, a adoção de medidas apropriadas.

Em Espanha, a função básica dos Planos de Emergência de Barragens é a redução do risco de rotura da barragem. Assim, é necessário identificar as situações que podem originar um perigo potencial para a sua segurança e, ao mesmo tempo, organizar as respostas e ações apropriadas.

Na elaboração dos P.E.P. é suficiente a apresentação da informação contida no artigo 3.5.1.6 da Diretriz, que se apresenta no Quadro 3.4 a Quadro 3.10, nomeadamente:

- Análise da segurança da barragem
- Zonamento territorial e análise dos riscos gerados por rotura da barragem
- Normas de atuação
- Organização
- Meios e recursos

Quadro 3.4 – Análise da Segurança da Barragem.

1. Análise da Segurança da Barragem
<p>Objetivos: i) estabelecimento de situações e fenómenos que possam, individual ou conjuntamente, conduzir à redução das condições de segurança da barragem e, como consequência, ao aumento no risco; ii) identificação das emergências e estabelecimento de indicadores; iii) estabelecimento de limites a partir dos quais os fenómenos se consideram perigosos.</p> <p>Fenómenos: inundações extremas, comportamento anormal da barragem, grandes deslizamentos de terra na albufeira, rotura ou avaria grave das barragens a montante, entre outros.</p> <p>Barragens em exploração: devem apresentar resumo da sua história e experiência de exploração, com indicação de eventos ou fenómenos que deram lugar a situações de emergência.</p> <p>Estabelecer em termos quantitativos e qualitativos os valores ou circunstâncias limites a partir dos quais os fenómenos e anomalias analisados se tornam perigosos, bem como os eventos que poderão levar à rotura da barragem.</p> <p>Estabelecer a organização de recursos humanos e materiais para levar a cabo as atuações previstas nas situações de emergência em relação aos níveis de segurança, que vão desde o “Nível 0” ao “Nível 3”.</p> <p>a) “Nível 0” (controlo de segurança): as condições existentes e as previsões aconselham a intensificação</p>

Quadro 3.4 (cont.) – Análise da Segurança da Barragem.

da vigilância e do controlo da barragem, não sendo necessária ainda a realização de medidas de intervenção para redução do risco.

- b) “*Nível 1*” (aplicação de medidas corretivas): ocorrência de eventos que poderão levar a situação de perigo de avaria grave ou rotura da barragem caso não sejam aplicadas medidas corretivas. A situação poderá resolver-se com segurança aplicando as medidas previstas e meios disponíveis.
- c) “*Nível 2*” (cenário excecional): perigo de rotura ou avaria grave na barragem e não se consegue assegurar o controlo da situação com a aplicação das medidas previstas e meios disponíveis.
- d) “*Nível 3*” (cenário limite): probabilidade de rotura da barragem é elevada ou já se iniciou, sendo praticamente inevitável a ocorrência de onda de cheia com origem na referida rotura.

É obrigatório realizar zonamento territorial e análise de riscos gerados pela rotura, com o objetivo de delimitar as zonas progressivamente inundáveis com a onda de cheia e os tempos de chegada. Também será realizada uma estimativa dos danos potenciais, a partir dos quais se poderá planejar um conjunto de atuações com o objetivo de reduzir os danos em caso de rotura, para que sejam incluídos nos diversos Planos de Proteção Civil.

Para a análise dos riscos provocados por rotura, devem-se considerar dois cenários extremos: rotura sem cheia e rotura em situação de cheia.

Para a análise de riscos com origem em avarias graves, recomenda-se um cenário: rotura das comportas (descargas de fundo, intermédias e de superfície).

Caso existam barragens a montante, no mesmo rio ou em efluentes, deverá ser considerado um cenário adicional de rotura encadeada de barragens, devendo existir coordenação entre os diversos planos de emergência.

No que concerne à forma, dimensões e tempo da rotura, o modelo utilizado para simular o fenómeno de formação e progressão da abertura é o modelo da progressão linear, com os modos de rotura e parâmetros apresentados no Quadro 3.5:

Quadro 3.5 – Características da rotura em função do tipo de barragem.

Tipo de barragem	Tempo de rotura	Forma da rotura	Profundidade da rotura	Largura da rotura	Taludes
Abóbada e arco	Instantânea (5 a 10 min)	Completa, Trapezoidal	n.a.	n.a.	n.a.
Gravidade ou contrafortes	Instantânea (5 a 10 min)	Retangular	Até contacto com a soleira do canal	Maior dos seguintes: a) 1/3 do comprimento do coroamento. b) 3 blocos.	n.a.
Aterro V – volume (hm <sup>3</sup> ) h – altura (m)	T(horas)=4,8xV <sup>0,5</sup> /h	Trapezoidal	Até contacto com a soleira da barragem	20(Vxh) <sup>0,25</sup>	1:1
Mistas	Seleciona-se o tipo de barragem que provoca um maior caudal em caso de rotura				

A análise da onda de cheia é feita utilizando modelos numéricos unidimensionais, com maior detalhe nas barragens com classificação de risco tipo A.

A caracterização do vale a jusante é feita com base na topografia existente, com localização das

#### Quadro 3.4 (cont.) – Análise da Segurança da Barragem.

povoações, vias de comunicação, centros de assistência, etc. Relativamente à rugosidade e obstruções a jusante, o coeficiente de rugosidade obtém-se com base na inspeção visual, podendo utilizar-se o método proposto pelo *United States Soil Conservation Service* ou os valores publicados em Chow *et al.* (Applied Hydrology, 1988).

O limite da análise de propagação da onda de cheia localiza-se onde os cálculos indiquem que já não existe perigo para as populações. Pode terminar antes caso se verifique a inexistência de qualquer ocupação de habitações, vale a desaguar no mar ou entrada numa albufeira capaz de receber a onda sem produzir danos significativos.

#### Quadro 3.6 – Zonamento territorial e análise dos riscos gerados por rotura da barragem.

##### **2. Zonamento territorial e análise dos riscos gerados por rotura da barragem**

O zonamento territorial de delimitação das áreas de inundação potencial é calculado e apresentado com intervalos de 30 minutos, iniciando-se logo após a rotura, delimitando-se nos mapas de inundação as zonas potencialmente inundáveis ao fim de 30 minutos a partir da rotura, 1 hora, 2 horas, 3 horas, etc., até que tenham passado os efeitos da onda de cheia.

Nas zonas mais povoadas ou com mais importância deverão ser calculados os valores de caudal e velocidade, tempos de chegada da onda e altura máxima, recomendando-se a elaboração de um perfil longitudinal com as alturas máximas.

Estes mapas elaboram-se sobre cartografia oficial a escalas entre 1:10.000 e 1:25.000.

Como resumo, deverão ser apresentados no P.E.P. de forma simples e resumida para cada cenário o:

- Mapa com indicação da envolvente da zona inundável e dos tempos de chegada da onda de rotura.
- Mapa de inundação progressiva, correspondente às áreas potencialmente inundáveis aos 30 minutos, 1 hora e seguintes.

#### Quadro 3.7 – Normas de atuação.

##### **3. Normas de atuação**

Normas para os diferentes níveis de segurança:

- *Nível 0*: intensificação da vigilância na barragem. Indicação dos objetivos da vigilância, especificação dos controlos a efetuar, das inspeções a realizar e dos procedimentos, instrumentação e informação a empregar. Esta vigilância intensiva deverá continuar ou ser reforçada caso os níveis avancem.
- *Nível 1*: aplicação de medidas corretivas a adotar para eliminar o risco de rotura ou avaria grave. Para cada evento serão detalhadas as medidas preventivas e corretivas a aplicar (i.e. redução do nível da albufeira, realização de descargas antecipadas e de emergência). As medidas corretivas deverão indicar os tempos de resposta para cada tipo de emergência.
- *Nível 2*: utilização de todas as medidas técnicas possíveis e todos os recursos disponíveis, dando-se prioridade à segurança da barragem em detrimento dos riscos possíveis de acontecer no vale a jusante.

Quadro 3.7 (cont.) – Normas de atuação.

- *Nível 3*: desenvolvimento e aplicação das atuações necessárias para controlar o incidente na barragem e dos meios para avaliar ou limitar o desenvolvimento da rotura, dando-se prioridade às descargas, caso sejam possíveis, e em todas as restantes atuações, à segurança da barragem.

No caso de situações que avancem do *Nível 1*, será constituído automaticamente um Comité Permanente, composto pelo presidente da Confederação Hídrica da região onde a albufeira esteja inserida (entidade estatal, responsável pelo domínio hídrico da albufeira), o Comissário de Aguas (entidade dependente da Confederação Hídrica, com funções de aprovação de concessões dentro do domínio hídrico), o Diretor técnico da barragem e o Chefe de exploração da barragem. Este comité tem como objetivo informar e assessorar as autoridades competentes em matéria de proteção civil.

Os procedimentos de informação e comunicação para cada nível serão estabelecidos conforme apresentado na Figura 3.6.

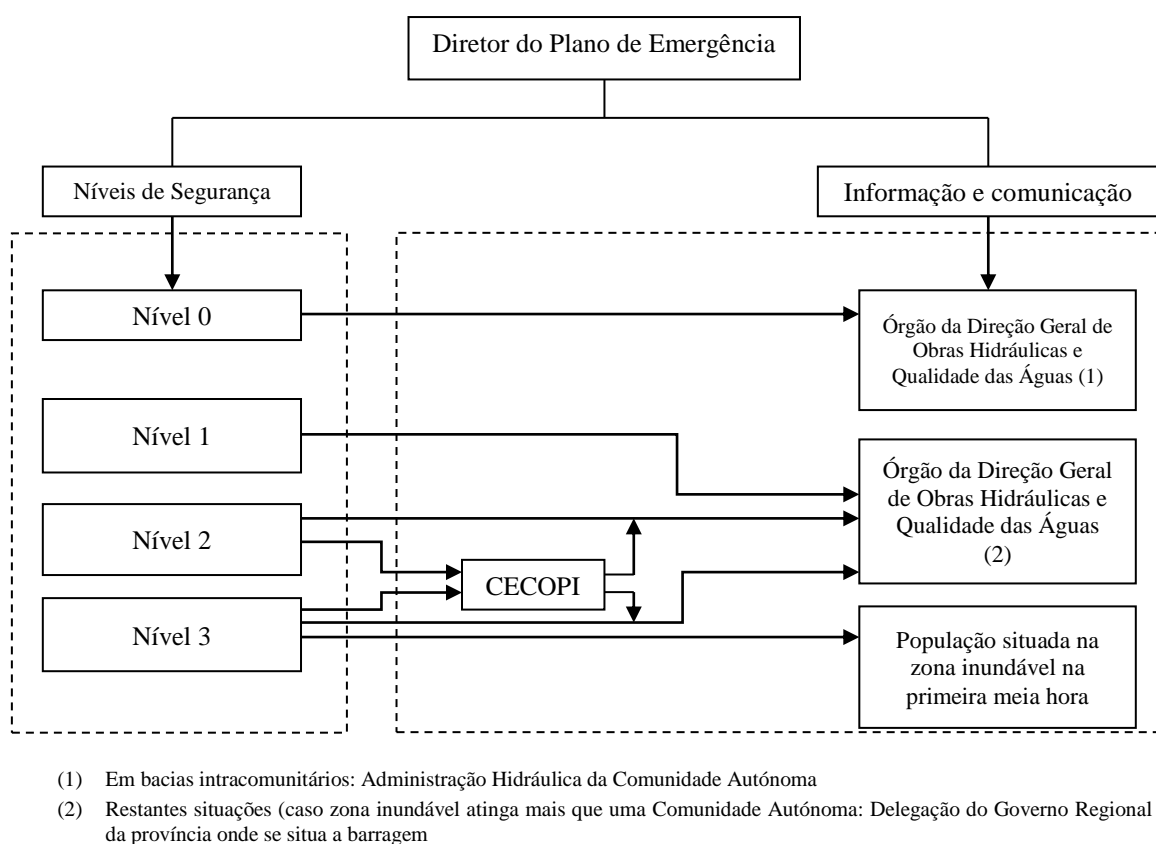


Figura 3.6 – Fluxograma de comunicação em caso de emergência (adaptado de *Guia Técnica para la elaboración de los Planes de Emergencia de Presas*, 2001).

A situação de emergência será considerada terminada quando se puder garantir, com segurança razoável, que as situações que motivaram a declaração de emergência já não existam. O Diretor do Plano, após verificação do desaparecimento das condições adversas, notificará os mesmos organismos notificados anteriormente.



### Quadro 3.8 – Organização.

#### 4. Organização

A legislação determina a obrigatoriedade de estabelecer a organização dos recursos humanos e materiais necessários, cabendo a direção do P.E.P. à pessoa responsável pela exploração da barragem, tendo como funções principais as apresentadas no Quadro 3.9.

Quadro 3.9 – Relações de comunicação do Diretor do PEP.

Situação	Funções do Diretor do Plano				Notas
	a) Intensificar a vigilância	b) Ordenar a execução de medidas	c) Manter informados os organismos públicos	d) Acionar o alarme em caso de perigo iminente e) Avisar a população	
Exploração normal					Existe vigilância e controle que permite passar ao Nível 0
Nível 0	✓	✓	Órgão designado pela DGOHCA ou pela Com. Autónoma		
Nível 1	✓	✓	Diretor do Plano de Com. Autónoma / Delegação do Governo	Informar as barragens a jusante	O comité permanente ordenará descargas extraordinárias
Nível 2	✓	✓	Diretor do Plano Com. Autónoma / Delegação do Governo / CECOPI	Informar as barragens a jusante	
Nível 3	✓	✓	Diretor do Plano de Com Autónoma / Delegação do Governo / CECOPI	Informar as barragens a jusante e a população afetada em 30 minutos	

Os critérios gerais a seguir na organização do PEP são os seguintes:

- A organização deverá garantir a realização das funções básicas que a Diretriz específica para o Diretor do P.E.P.;
- As funções e responsabilidades de todos os elementos que compõem o plano devem ser claras e concretas e executadas em situações de emergência de forma rápida e inequívoca;
- O risco de falha em caso de emergência deverá ser reduzido ao máximo;
- Os aspetos organizativos e de operação deverão ser completos, concisos e claros.

Deverá existir um organigrama em que se defina de forma concreta a organização de todo o pessoal, com as suas dependências hierárquicas, encabeçada pelo Diretor do Plano / Diretor de Exploração, com funções, moradas e procedimentos de localização e comunicação e com a relação de pessoas e organismos com os quais se deverá estabelecer comunicação, indicando o conteúdo das notificações a transmitir.

No caso de barragens em cascata, considerando uma situação em que existem 3 barragens em cascata que devam dispor de Plano de Emergência e denominadas de 1, 2 e 3 de montante para jusante, na elaboração do P.E.P. das barragens deverão ser tidas em conta as seguintes considerações:

- A organização do plano da barragem 2 deverá prever a necessidade de receber notificações dos eventuais cenários de acidente da barragem 1. A receção destas notificações pode conduzir à existência de um determinado cenário de acidente na barragem 2. Assim, na definição do eventual cenário de acidente da barragem 2 será tido em conta o cenário de acidente estabelecido na barragem 1.
- Situação análoga ocorre entre a barragem 3 e a barragem 2.

### Quadro 3.8 (cont.) – Organização.

Deverá existir um plano de formação, para todo o pessoal que faz parte do plano de emergência, que demonstre a organização existente e as capacidades técnicas necessárias para cada um dos intervenientes no Plano.

O P.E.P. deverá estar permanentemente atualizado, cabendo ao diretor do Plano a notificação dos seus destinatários sobre as alterações introduzidas, sendo dada relevância aos seguintes aspetos:

- Alterações na morfologia ou instalações na barragem;
- Alterações na geomorfologia da bacia com impacto na albufeira;
- Alterações na presença de povoações a jusante da barragem;
- Alterações no sistema de comunicações;
- Detecção de falhas na redação do Plano ou na sua execução ou colocação em prática.

### Quadro 3.10 – Meios e recursos.

#### 5. Meios e recursos

Os recursos humanos e materiais necessários para colocar em prática os Planos de Emergência deverão ser detalhados com base em critérios de qualificação técnica, quantidade, eficiência, rapidez e segurança.

Os diferentes meios e recursos necessários para a elaboração do P.E.P. classificam-se nas seguintes categorias:

- *Meios Próprios de Exploração*: recursos humanos e materiais integrados na exploração normal da barragem que estão permanentemente à disposição do Diretor do Plano.
- *Meios Próprios Específicos do Plano de Emergência*: recursos próprios afetos ao Plano e à disposição permanente do Diretor do Plano.
- *Meios Próprios não específicos*: recursos humanos e materiais próprios que podem estar disponíveis para uma emergência, mas com funções na barragem não relacionadas com o Plano de Emergência.
- *Meios Exteriores Específicos*: recursos que não fazem parte da organização própria da barragem mas a sua disponibilidade para situações de emergência está prevista através de alguma relação específica (contratual, por exemplo), sendo requisitados pelo Diretor do Plano.
- *Meios Exteriores Disponíveis*: meios existentes na envolvente da barragem que podem ser utilizados num curto espaço de tempo, mas em relação aos quais não existe nenhuma relação específica que permita assegurar a sua utilização.

Os meios de comunicação devem ser constituídos por um sistema primário e secundário. Recomenda-se utilizar como meio primário de comunicação com os organismos que em cada situação seja necessário comunicar, sistemas diretos (linha telefónica direta). Todos os sistemas deverão ser absolutamente fiáveis, devendo comprovar-se que em nenhum ponto do seu traçado pode ser interrompido em caso de inundação, deslizamento, etc.

Sobre os sistemas de aviso à população, devem existir meios de sinalização acústica ou alternativos para avisar a população existente na zona inundável na primeira meia hora, para que esta possa aplicar as medidas de autoproteção.

No P.E.P. será **contemplado apenas o aviso à população**. Os aspetos relacionados com vias de comunicação, localização de pontos de encontro, etc., estão sob responsabilidade de outros organismos competentes.

Quadro 3.10 (cont.) – Meios e recursos.

<p>Os sistemas de aviso à população devem ter como principais linhas diretoras as seguintes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Estar operacionais incluindo em circunstâncias de emergência extremas;</li> <li>– Deverão ser ativados pelo Diretor do P.E.P. a partir da sala de emergência;</li> <li>– Deverão ter capacidade para alcançar a população existente na zona inundável nos primeiros 30 minutos;</li> <li>– O sinal de alarme deverá ser diferente de outro sinal para que se consiga diferenciar de outros alarmes, devendo para isso ter uma cadência e som característicos e facilmente identificáveis;</li> </ul> <p>A existência de uma sala de emergência é obrigatória em cada barragem, exceto nos casos em que numa mesma albufeira exista uma barragem principal e uma ou várias represas.</p> <p>A sala de emergência deverá ser específica para atividades relacionadas com o plano de emergência. Na sala de emergência estará instalado o Centro de Comunicações e toda a documentação básica e técnica do P.E.P..</p> <p>É importante referir que as emergências em análise nos <b>P.E.P.</b> são <b>emergências internas</b> (exceto para alertar a população na zona inundável num intervalo não superior a 30 minutos), ficando os efeitos sobre a zona exterior sob responsabilidade dos organismos responsáveis, como sejam a <i>Guardia Civil</i>, <i>Proteção Civil</i>, etc.</p>
--

Relativamente à estrutura do Plano de Emergência de Barragens, o guia técnico recomenda a estrutura para apresentação do PEP que se apresenta no Quadro 3.11, sendo igualmente fornecida informação sobre o conteúdo de cada um dos elementos.

Quadro 3.11 – Estrutura do Plano de Emergência de Barragens.

Capa	
Apresentação	
Identificação do documento	
Índice geral	
Capítulo 1	Identificação da barragem
Capítulo 2	Descrição da barragem, albufeira e ambiente
Capítulo 3	Organização geral. Meios e recursos
Capítulo 4	Normas de atuação em emergência
Capítulo 5	Zonamento territorial e estimativa de danos
Apêndice 1	Formulários tipo
Apêndice 2	Diretório de pessoal próprio afeto ao Plano
Apêndice 3	Diretório de meios afetos ao Plano

Quadro 3.11 (cont.) – Estrutura do Plano de Emergência de Barragens.

Apêndice 4	Diretório de recursos humanos e materiais afetos ao Plano em <i>Outsourcing</i>
Apêndice 5	Diretório de organismos e organizações relacionadas com o Plano
Anexo 1	Justificação da análise de segurança da barragem
Anexo 2	Justificação do zonamento territorial e estimativa de danos
Anexo 3	Justificação das normas de atuação
Anexo 4	Justificação da organização de meios e recursos
Documento de operação do Plano de Emergência	

### 3.3.2. Reino Unido

#### 3.3.2.1. Organização do planeamento e entidades envolvidas

No Reino Unido, a legislação relativa à segurança das albufeiras criadas pela construção de barragens está contida nos documentos *Reservoirs Act 1975* e *Water Act 2003*.

Para elaboração do presente capítulo foi consultado ainda o guia técnico com o título *Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs*. De acordo com esse guia, o objeto de regulamentação não está centrado na barragem, como em Portugal ou Espanha, mas na albufeira a montante da barragem.

De acordo com a legislação em vigor, todas as barragens cuja albufeira tenha capacidade igual ou superior a 25.000 m<sup>3</sup>, designadas de *large raised reservoir*, deverão estar registadas na *Environment Agency (EA)*, devendo o dono de obra fornecer informação detalhada relativa à sua identificação bem como da entidade exploradora, à localização e tipo de barragem, objetivo da barragem, níveis e cotas máximos, capacidade da albufeira, data de construção, entre outras. No caso de construção de novas barragens, reativação de exploração ou alteração de barragens, a mesma deverá ser comunicada igualmente à EA.

Depois do registo, a EA determinará se a albufeira é de “alto risco”, sendo esta classificação atribuída nos casos em que exista perigo para vidas humanas em caso de rotura ou mau funcionamento da barragem. Para as albufeiras assim classificadas o planeamento de emergência é abordado através da elaboração de um documento obrigatório com o nome de ***Reservoir Flood Plan***, o qual é exigido para situações que possam conduzir a uma grande descarga de água de uma albufeira que possa ameaçar as populações e propriedades no vale a jusante [*Water Act, 2003*]. Para as restantes albufeiras/barragens é obrigatório o seu registo na EA bem como inspeções periódicas (a cada 10 anos) para verificar se a classificação de risco se mantém.

Este documento tem como objetivos minimizar a probabilidade de falha na eventualidade de surgir um problema estrutural na barragem e contribuir para minimizar a perda de vidas e os danos provocados nas potenciais zonas inundadas e subdivide-se em três documentos, todos da responsabilidade do Dono de Obra:

- a) Avaliação de Impacto – Contém a análise das potenciais consequências de uma falha da barragem;
- b) Plano interno (“*On-site plan*”) – Contém as medidas que o dono de obra deve levar a cabo para evitar ou mitigar a falha da barragem;
- c) Plano externo (“*External Interfaces plan*” ou “*Off-site Plan*”) – Contém as atividades externas no caso de emergência provocada por falha na barragem, onde se inclui a definição e a realização de testes periódicos dos canais de comunicação entre o dono de obra e as entidades externas e os recursos do primeiro necessários em caso de emergência.

As principais entidades envolvidas nas várias etapas são:

- Dono de obra ou entidade exploradora da barragem (*undertaker*) – responsável pela segurança da barragem, nomeadamente:
  - Manter um registo de todas as ocorrências;
  - Realizar uma avaliação inicial da situação e manter a vigilância, fornecendo relatórios da situação em curso;
  - Implementar o plano interno e realizar todas as medidas adequadas para evitar a falha da barragem em conjunto com o engenheiro responsável, o qual deverá aconselhar dos procedimentos a tomar;
  - Dar conhecimento às autoridades da existência de um risco acrescido ou de uma ocorrência de um incidente na barragem, fornecendo detalhes, (estado de alerta, tipo de falha, ações a serem tomadas para resolver a situação, etc.);
  - Nomear pessoas devidamente qualificadas de entre o pessoal da entidade exploradora ou consultores para participar nos mecanismos de controlo que permitam fornecer atualizações em tempo real sobre o andamento do incidente.
- *Environment Agency* em Inglaterra e País de Gales, e Autoridades locais na Escócia – responsáveis pela aprovação dos planos e por garantir que os donos de obra cumprem os requisitos legais;
- Engenheiros Cíveis qualificados, (*Panel Engineers*) nomeados pelo Secretário de Estado após consulta da *Institution of Civil Engineers* – responsáveis pelo dimensionamento e supervisão da construção da barragem, supervisão das medidas tomadas relativamente à segurança, inspeção das barragens nas diversas etapas desde a construção à desativação.
- Secretário de Estado – responsável pela tutela da *Environment Agency*, por nomear os engenheiros qualificados e pela execução dos instrumentos legais na execução dos regulamentos.
- *Local Resilience Forum (LRF)* – É um fórum, formado na área de jurisdição das autoridades locais de uma determinada barragem, composto por todas as entidades envolvidas na proteção civil e na resposta e apoio a situações de emergência. A existência deste fórum é obrigatória através do diploma legal *Civil Contingencies Act 2004*<sup>2</sup>. Este fórum permite, às entidades responsáveis pelo planeamento de emergência e outras com interesse no local, a disponibilidade de colaboração e informação privilegiada, facilitando o planeamento e a resposta a situações de emergência.

---

<sup>2</sup> *Civil Contingencies Act 2004* é o documento que estabelece o quadro legal para o planeamento e resposta a emergências no Reino Unido. É o documento equivalente à Lei de Bases de Proteção Civil em Portugal.

### 3.3.2.2. Avaliação de Impacto

A Avaliação de Impacto contém informação passível de ser utilizada para diferentes fins como, por exemplo, fornecer informação às autoridades e entidades envolvidas na proteção civil que permita desenvolver as suas próprias avaliações de risco e determinar zonas a evacuar na eventualidade de ocorrência de algum dos cenários considerados, fornecer dados aos proprietários de infraestruturas na zona de inundação que permita avaliar os riscos, etc. No Quadro 3.12 apresenta-se a informação que deve constar na Avaliação de Impacto.

Quadro 3.12 – Estrutura da Avaliação de Impacto (adaptado de *Engineering guide to emergency planning for UK reservoirs, 2006*).

Cap.	Títulos	Tópicos
1	Objetivo, âmbito e administração da avaliação de impacto	a) Albufeiras e barragens incluídas na avaliação de impacto; b) Versão do documento e lista de distribuição do mesmo; c) Outras avaliações de impacto sobre essas barragens.
2	Cenários modelados na avaliação de impacto	Exemplos: rotura da barragem, avaria de válvula/comporta.
3	Hidrograma de cheia e caminho crítico	Hidrograma de cheia para todos os cenários considerados bem como o caminho crítico.
4	Metodologia para a modelação hidráulica	Descrição da metodologia e valores adotados na análise da modelação da onda de cheia ao longo do vale a jusante, incluindo: a) Nível de análise; b) <i>Software</i> e dados do terreno utilizados; c) Análise do transporte de sedimentos.
5	Avaliação das consequências	Descrição da metodologia e valores adotados para estimar: a) Número de edifícios na área de inundação, área e tipo de propriedades não-residenciais e nível de danos provocados; b) População em risco, com a descrição geral do tipo de aglomerado (i.e. casas isoladas, instalações de recreio, junto a estrada principal, com condições para instalação do <i>LRF</i> , etc.); c) Probabilidade de perda de vidas; d) Danos provocados em propriedades.
6	Resultados da avaliação de impacto	Resultados para os vários percursos possíveis da onda de inundação, apresentados no formato exigido pelas normas.
7	Impacto em infraestruturas	a) Velocidade e altura da onda de cheia nos locais chave, tais como estradas, ferrovias e outras infraestruturas nas quais o impacto da onda cause maiores danos; b) Análise da existência de infraestruturas ao longo do caminho que possam atenuar a onda de cheia.
8	Manutenção da avaliação de impacto	Periodicidade da revisão da avaliação de impacto ou de atualizações, quando necessário.

No capítulo 2 da Avaliação de Impacto, a legislação obriga a analisar apenas um cenário designado por *Standard Analysis Scenario*. Os pressupostos a ter em conta para analisar este cenário são definidos no guia técnico referido anteriormente e são apresentados no Quadro 3.13. O dono de obra pode analisar mais cenários, tendo em atenção que estes devem ser tão completos como o cenário padrão (*Standard Analysis Scenario*).

Quadro 3.13 – Estrutura do *Standard Analysis Scenario* (adaptado de *Engineering guide to emergency planning for UK reservoirs*, 2006).

Item		Requisitos
1	Nº de barragens envolvidas	Caso existam barragens em cascata, todas as barragens falham começando pela de montante.
2	Modo de falha	Falha de forma a atingir a descarga máxima.
3	Tempo de falha em cada barragem	Início da falha na altura da afluência máxima à albufeira (em barragens em cascata irá provocar a rotura sucessiva de montante para jusante)
4	Afluências à albufeira	Eventos de precipitação extrema com período de retorno de 10.000 anos; Máximas afluências às albufeiras.
5	Nível inicial na albufeira e volume no modelo hidráulico	Caso A: Descarga de superfície vulnerável a um bloqueio superior a 10%; Albufeira totalmente sobrecarregada, com o nível inicial a ser determinado da seguinte forma: a) se a barragem tiver um muro acima do coroamento da barragem que estruturalmente consiga suportar a sobrecarga de água: coroamento do muro; b) se não existir qualquer muro: coroamento da barragem; c) se existir outra barragem na mesma albufeira cujo coroamento ou muro estejam a uma cota inferior, o nível mais baixo é determinado conforme as alíneas a) ou b). Caso B: Em todos os outros casos, o nível inicial da albufeira considera-se o nível no qual esteja a descarregar um caudal normal.
6	Caudal descarregado antes da falha	O caudal inicial deve ser suficiente para a estabilidade do modelo em cascata e não deve exceder geralmente o pico de uma inundação com um período de retorno de mil anos em qualquer ponto do fluxo. Quando tal não for possível, o caudal inicial não deve exceder 10% da vazão máxima da brecha.
7	Descargas de emergência da albufeira	Todo o equipamento de controlo de nível da albufeira fica na posição fechada ao longo do evento, independentemente das suas posições normais ou configurações e todos os mecanismos automáticos de abertura falham.
8	Afluência de efluentes a jusante da albufeira	As afluências a jusante são desprezadas uma vez que o <i>Standard Analysis Scenario</i> é geralmente conservativo
9	Limites a jusante para avaliação do impacto	Os limites são: - onde a extensão prevista de inundação é inferior à extensão de uma inundação fluvial com período de retorno de 100 anos e/ou - onde o caudal máximo de uma inundação provocada pela rotura de uma barragem atenuada seja inferior a uma inundação com período de retorno de 100 anos.
10	População em risco	Média de ocupação anual dos edifícios. Desprezam-se as possíveis evacuações prévias.
11	Modelação do terreno ao longo do fluxo de água	a) No mínimo, modelação com dados IfSAR <sup>3</sup> . O leito do rio pode ser desprezado, exceto quando a sua capacidade excede significativamente a inundação com probabilidade de 1%;

### 3.3.2.3. Plano Interno (“On-site Plan”)

O Plano Interno, ou *On-site Plan* conforme designação original, é o segundo elemento que deve ser elaborado pelo Dono de Obra e tem como objetivo descrever as medidas que o dono de obra deve levar a cabo para evitar ou mitigar uma eventual falha na barragem.

No Quadro 3.14 apresenta-se um resumo da estrutura de um Plano Interno de acordo com o *Engineering Guide for Emergency Planning on United Kingdom Reservoirs*.

<sup>3</sup> IfSAR - *Interferometric Synthetic Aperture Radar*

Quadro 3.14 – Estrutura de um Plano Interno (adaptado de *Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs*, 2006).

Capítulo	Títulos	Tópicos
1	Objetivo, âmbito e administração do PI	Versão do documento (rascunho, versão intermédia, documento aprovado, etc.); Lista de distribuição e documentos associados.
2	<b>Gestão de emergência pelo dono de obra</b>	
2.1.	Procedimentos do dono de obra e pessoal autorizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Indicadores que poderão levar à ativação do plano;</li> <li>b) Nomes e outras informações dos intervenientes listados (engenheiro supervisor, pessoal do dono de obra, empreiteiros e quaisquer outras pessoas relacionadas com a barragem);</li> <li>c) Acordo com a nomeação do Engenheiro Civil qualificado para prestar assessoria técnica na gestão de emergência;</li> <li>d) Lista do pessoal autorizado com funções na gestão de emergência com respetivas hierarquias;</li> <li>e) Indicação de procedimentos no caso de incidente fora do horário normal de trabalho;</li> <li>f) Nível de serviço em termos de tempo de resposta para o pessoal no local avaliar a situação;</li> <li>g) Esquema da barragem.</li> </ul>
2.2	Comunicações externas	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Procedimentos de identificação e contacto com o dono de obra;</li> <li>b) Nível de emergência a partir do qual se entra em contacto com organismos externos;</li> <li>c) Disposições para aviso prévio a entidades externas sobre uma potencial falha na barragem;</li> <li>d) Nomes e hierarquias das pessoas responsáveis pelas notificações e a articulação entre elas;</li> <li>e) Interligação com a comunicação social.</li> </ul>
2.3	<i>Check list</i> para o pessoal afetado em situação de emergência	Qualquer informação, medidas de segurança ou outros equipamentos que o pessoal responsável pela barragem necessite para verificar e gerir situações de emergência, i.e. chaves de acesso, entrada em espaços restritos, telecomunicações móveis, etc.
3	<b>Descrição da albufeira e barragem</b>	
3.1	Situação	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Definições, incluindo denominações ambientais;</li> <li>b) Classe das consequências<sup>4</sup>.</li> </ul>
3.2	Registos detalhados	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Localização dos registos da albufeira, barragem, captação e instalações a jusante, tais como plantas, esquemas da barragem, registos de monitorização, etc;</li> <li>b) Qualquer outra informação, relevante em caso de emergência, que não se inclua nos restantes capítulos do PEI.</li> </ul>
3.3	Dimensões e características	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Dimensões e tipo de construção, capacidade da descarga, requisitos de pessoal para responder a situações de emergência, riscos ambientais, plantas com identificação da localização e operação das válvulas;</li> <li>b) Informação sobre outras albufeiras em cascata.</li> </ul>
3.4	Outras instalações relevantes para as operações internas	Identificação de todas as instalações relevantes para o PEI na área circundante à albufeira.
3.5	Acesso à albufeira	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Acesso às estruturas da barragem, tais como esquema dos cadeados e chaves associadas, alarmes ou outros sistemas de deteção de intrusão existentes;</li> </ul>

<sup>4</sup> Classe de Consequência resulta da utilização de um ábaco onde se retira o valor da classe de consequência em função do número de possíveis vítimas de uma rotura da barragem e o montante (em milhares de libras) dos danos provocados pela rotura.



Quadro 3.14 – Estrutura de um Plano Interno (adaptado de *Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs*, 2006). (continuação)

Capítulo	Títulos	Tópicos
		b) Acessos alternativos à barragem e outras informações detalhadas; c) Limites/restrições de peso, largura e altura no acesso à barragem.
3.6	Comunicações existentes no local	Indicação das redes móveis que funcionam no local e linhas telefónicas aéreas mais próximas (são recomendadas no mínimo duas linhas, ambas localizadas fora da zona de inundação).
3.7	Instalações sociais	Existência de instalações sociais como balneários, cozinhas ou outras instalações que permitam fazer refeições, com mesas, energia e outras condições que permitam ser utilizadas como escritório.
3.8	Operação normal	Detalhes da operação normal da barragem, incluindo os responsáveis pelas diferentes funções, tais como segurança da barragem, gestão, manutenção, operação e frequência de vigilância.
<b>4</b>	<b>Ações a desenvolver pelo dono de obra no local</b>	
4.1	Avaliação da situação	a) Detalhes da entidade/pessoa responsável pela avaliação do local; b) Questões de saúde, de segurança e ambientais na implementação do PEI.
4.2	Recursos do dono de obra relevantes para as atividades no local	a) Equipamento instalado e disponível no local; b) Outros recursos disponíveis com a sua localização e meio de contacto.
4.3	Esvaziamento da albufeira	a) Curvas de esvaziamento da albufeira vs. tempo para a abertura total da descarga de fundo para uma gama de condições de afluência à albufeira; b) Meios alternativos de esvaziamento; c) Riscos que podem ser criados em consequência do esvaziamento; d) Descarga máxima admissível de modo a não provocar danos no vale a jusante.
4.4	Outras medidas	a) Outras medidas que podem ser tomadas para prevenir a falha; b) Avaliação de risco que possa estar em desenvolvimento relativamente a outra albufeira.
4.5	Impactos externos	a) Impactos sobre terceiros, i.e., inundações, impacto ambiental; b) Impacto nas operações do dono de obra.
4.6	Assistência de organizações externas	Polícia e Autoridades Locais.
<b>5</b>	<b>Medidas em diferentes instalações</b>	
5.1	Comunicação com outras albufeiras em cascata (caso existam)	a) Comunicação entre diferentes donos de obra; b) Ações preventivas que podem ser tomadas em caso de incidente numa albufeira a montante; c) Ações para mitigar os efeitos de onda de cheia.
5.2	Medidas noutras instalações	a) Outras medidas de desvio temporário das afluências da albufeira; b) Ações para mitigar os efeitos da onda de cheia.
<b>6</b>	<b>Manutenção do Plano de Emergência Interno</b>	
6.1	Formação do pessoal	Incluir as modalidades de formação do pessoal para as tarefas a desempenhar e a periodicidade de renovação da formação.
6.2	Periodicidade de teste dos equipamentos	a) Incluir a abertura total da descarga de fundo pelo menos uma vez por ano; b) Necessidade de aviso prévio da realização de testes e avaliação do potencial impacto ambiental; c) Manutenção de registos de testes.
6.3	Exercícios	a) Nível, tipo e frequência de exercícios; b) Pessoal envolvido.
6.4	Revisão e atualização do Plano	a) Frequência de verificação e atualização dos contactos; b) Data da próxima revisão completa.

### 3.3.2.4. Plano Externo (“Off-site Plan”)

O plano externo ou *Off-site Plan* é o terceiro documento que completa o Plano de Inundação de Albufeira. Este elemento pretende facilitar a comunicação com o *Local Resilience Forum* através do fornecimento de informação ao Fórum sobre o planeamento de emergência realizado nos documentos apresentados em 3.3.2.2 e 3.3.2.3, que lhes permite estar preparados num eventual incidente e no caso de rotura iminente ou já ocorrida e fornecer informação que permita maximizar a eficiência da resposta das entidades externas.

No Quadro 3.15 apresenta-se um resumo da estrutura de um Plano Externo de acordo com o *Engineering Guide for Emergency Planning on United Kingdom Reservoirs*.

Quadro 3.15 – Estrutura de um Plano Externo (adaptado de *Engineering Guide to Emergency Planning for UK Reservoirs*, 2006).

Cap.	Títulos	Tópicos
1	Objetivo, âmbito e administração do PE	Versão do documento (rascunho, versão provisória, documento aprovado, etc.); Lista de distribuição e documentos associados.
2	<b>Notificação pelo dono de obra de incidentes graves na barragem</b>	
2.1.	Informação a fornecer ao <i>Local Resilience Forum</i>	a) Nível de alerta do aviso (i.e. aviso prévio, falha provável ou falha ocorrida); b) Tipo de falha; c) Ações tomadas ou em curso para evitar a falha; d) Probabilidade estimada de falha e o tempo provável até à sua ocorrência.
2.2	Documentos relevantes disponíveis	a) Análise da inundação; b) Plano Interno; c) Protocolos relacionados com fornecimentos de serviços que sejam afetados pela rotura da barragem (i.e. relacionados com roturas de condutas de água, esgoto, etc.).
3	<b>Gestão de incidentes graves pelo Dono de Obra</b>	
3.1	Procedimentos e pessoal autorizado	a) Localização da barragem e informação do Dono de Obra; b) Centro de Controlo de Emergência; c) Todos os contactos (fixo e móvel) do pessoal autorizado para gestão de emergência; d) Definição e notificação dos níveis de alerta.
3.2	Comunicações	Método de informação à comunicação social.
3.3	Recursos do dono de obra relevantes para as atividades externas	a) Representante do dono de obra na sala de controlo do <i>Local Resilience Forum</i> durante o incidente; b) Recursos atribuídos às diferentes atividades; c) Recursos disponíveis para apoiar as autoridades de proteção civil nas atividades externas; d) Em algumas situações acordadas com as autoridades e o <i>LRF</i> , poderá ser apropriado ser o Dono de Obra a emitir o aviso à população em risco imediatamente a jusante da barragem.
4	<b>Manutenção do Plano Externo</b>	
4.1	Formação do pessoal	Formação e treino do pessoal nos serviços para os quais estão designados. Se necessário, coordenar estas formações e treinos com outras organizações.
4.2	Exercícios de simulacro	a) Nível, tipo e frequência de exercícios de simulacro; b) Pessoal e entidades envolvidas.
4.3	Revisão e atualização do Plano	a) Frequência de verificação e atualização; b) Data da próxima revisão completa.

### 3.3.3. França

A legislação Francesa em vigor relativa ao tema foi publicada em 2007, nomeadamente através do Decreto 2007-1735 de 11 de Dezembro de 2007. O presente capítulo foi elaborado tendo presente a informação existente no documento com o título *Guide de Lecture des Études de Dangers des Barrages*.

De acordo com a legislação existente, o proprietário da barragem ou dono de obra é a entidade responsável por qualquer dano provocado por uma barragem, direta ou indiretamente, em caso de incidente, falha ou durante a exploração normal. As obrigações do dono de obra estão definidas no *Code de l'environnement*.

Apesar da responsabilidade do dono de obra, a *autoridade* tem um papel determinante na garantia da segurança pública em caso de emergência. Em França, à semelhança da generalidade dos países analisados, a *autoridade* é uma entidade sob tutela do Ministério responsável pelas questões ambientais ou da água – Ministério da Ecologia, Energia, Desenvolvimento Sustentável e Mar – a qual supervisiona a ação do proprietário da barragem no que concerne a segurança da mesma.

As barragens são divididas em 4 classes de acordo com a altura ( $H$  [m]) da barragem acima da fundação e o volume ( $V$  [hm<sup>3</sup>]) da albufeira.

Assim, temos a seguinte classificação de barragens;

- Classe A: barragens com 20 m de altura ou superiores;
- Classe B: barragens não classificadas em A, com altura igual ou superior a 10 m e onde  $H^2\sqrt{V} \geq 200$ ;
- Classe C: barragens não classificadas em A ou B, com altura igual ou superior a 5 m e com  $H^2\sqrt{V} \geq 20$ ;
- Classe D: barragens não classificadas nas classes A, B ou C e com altura igual ou superior a 2 m.

O inventário das barragens existentes não está concluído, mas estima-se que existam perto de 300 barragens de classe A, 300 de classe B, 1000 de classe C e várias dezenas de milhares de barragens de classe D (ICOLD, 2013).

No que diz respeito ao planeamento de emergência, os planos de emergência (*Plans Particuliers d'Intervention pour les Barrages – PPI*) são obrigatórios para as barragens das classes A e B, e a sua execução é da responsabilidade do dono de obra. A aprovação do plano é da responsabilidade das autoridades administrativas que representam o governo a nível regional (“*Préfet de Région*”).

De acordo com o artigo 5º do Decreto nº 2005-1158 de 13 de setembro de 2005, o PPI deve compreender no mínimo a seguinte informação:

- Descrição geral da infraestrutura em questão, incluindo descrição dos cenários de acidentes e efeitos tidos em conta pelo plano;
- Área abrangida e o alcance do plano, com a lista dos municípios nos quais as disposições do plano são aplicáveis;
- Medidas de informação e proteção às populações e, quando aplicável, esquemas de evacuação das mesmas com indicação dos alojamentos provisórios;
- Medidas a tomar pelo dono de obra para difusão imediata do alerta às autoridades competentes, informando-as sobre a situação e a sua evolução, bem como um posto de

comando construído no local ou nas imediações;

- Medidas que competem ao dono de obra em relação às populações vizinhas em caso de perigo imediato:
  - a) Divulgação de alerta às populações vizinhas;
  - b) Interrupção do tráfego nas estradas afetadas e remoção das pessoas na vizinhança do local;
  - c) Interrupção das redes públicas e infraestruturas na vizinhança do local.
- Tarefas a desempenhar pelas diversas entidades públicas, bem como a assistência de organizações privadas que possam vir a ser chamadas a intervir;
- Avisos e informações a prestar às autoridades dos Estados vizinhos;
- Disposições gerais relativas à reposição das condições normais de segurança e limpeza das áreas afetadas, a longo prazo, após a ocorrência de um acidente grave.

A primeira fase na elaboração do PPI passa pela **Análise de Risco**, para o qual a *Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement* deve ser consultada pelo dono de obra, a fim de prestar consultoria técnica. Esse estudo é depois examinado por um comité de especialistas nas áreas de engenharia e hidráulica nomeados pelo Ministério do Ambiente ou eventualmente assistido por técnicos não integrantes do comité. Este comité elabora um relatório que propõe a aprovação ou reprovação dos estudos ou eventualmente solicita mais estudos. As recomendações do comité são, de forma geral, tidas em conta pelas autoridades.

As zonas suscetíveis de serem inundadas são definidas em: *Zona de Proximidade Imediata*, *Zona de Inundação Específica* e *Zona de Inundação*. A primeira diz respeito à área em que, no caso de rutura total ou parcial da barragem, a inundação provocaria danos importantes e onde se entende que os tempos de chegada da onda de cheia são incompatíveis com os meios de alerta à população por parte das entidades responsáveis pela proteção civil. A segunda é a zona onde a altura máxima da onda de cheia é da ordem das maiores inundações conhecidas. Por fim, a *Zona de Inundação* diz respeito à zona onde o nível máximo da onda de cheia é comparável a uma inundação natural.

O PPI incide sobre a *Zona de Proximidade Imediata* e *Zona de Inundação Específica*.

A Análise de Risco deverá conter uma memória descritiva da onda de inundação, com a seguinte informação:

- Planta do local;
- Principais características da barragem;
- Áreas submersas e tempo de chegada da onda de inundação apresentada à escala 1/25.000 ou outra mais adequada e as principais características hidráulicas da onda, nomeadamente a altura e velocidade;
- Indicação dos dados e premissas utilizados no estudo;
- Indicação sobre o método de cálculo e modelo utilizados.

O estudo da onda de inundação é realizado até ao limite a partir do qual a inundação se apresenta com um risco limitado para as populações.

Destaca-se o facto de existir na regulamentação francesa indicação informação relacionada com a dimensão da brecha e tempo de rutura em função do tipo de barragem, conforme se apresenta no Quadro 3.16.

Quadro 3.16 – Critérios para a simulação de cheias induzidas.

Tipo de barragem	Dimensão da brecha	Tempo de rotura
Barragem em betão	Rotura total	Instantânea
Barragem de aterro	-	Gradual Metodologia de Meyer-Peter e Müller <sup>5</sup>

Além da divisão das zonas inundáveis, o regulamento estipula **três zonas de risco** dependendo do tempo de chegada da onda, com a seguinte designação [ICOLD EUROPEAN CLUB, 2008]:

- Zona de 15 minutos, denominada de Zona de Auto-Salvamento, onde o aviso público deve ser garantido através de sirenes;
- Zona de Alarme I, onde é obrigatório ter um Plano de Emergência para as ações de salvamento;
- Zona de alarme II, onde os danos provocados serão reduzidos (não sendo expectável nenhuma perda de vida).

Na zona de 15 minutos, o aviso é completamente automático e diretamente relacionado com o sistema de emergência da barragem. O aviso é realizado através do toque de sirenes mas existe igualmente a possibilidade de realização de chamadas telefónicas através de serviço controlado por autómato.

O dono de obra ou o operador publicam um relatório anual sobre vigilância, monitorização e operação das barragens. A cada dois anos (ou menos frequentemente para barragens de classe B ou inferior), o relatório deve incluir uma análise detalhada dos resultados da monitorização.

A autoridade inspeciona a barragem todos os anos para barragens de classe A e a cada 5 anos para barragens de classe B. Os representantes locais da autoridade deverão manter um ficheiro atualizado com todos os documentos relevantes (telas finais, relatórios de inspeções, relatórios de monitorização, etc.). A autoridade deve aprovar formalmente todos os documentos.

O dono de obra deve instalar e manter equipamentos para deteção e vigilância da envolvente da barragem, sinalização, comunicação e dispositivos de alerta (sirenes que permitam o aviso à área inundada nos primeiros 15 minutos, testadas todos os 3 meses).

### 3.4 Análise Comparativa

Após análise da informação apresentada nos capítulos anteriores, apresenta-se no Quadro 3.17 uma comparação de alguns dos principais aspetos abordados no planeamento de emergência dos diferentes países analisados.

Destaca-se o facto de o planeamento de emergência interno (conforme definido na legislação portuguesa) ser sempre da responsabilidade do dono de obra.

<sup>5</sup> O método Meyer-Peter e Muler, refere-se a uma fórmula desenvolvida em 1948, que trata do dimensionamento do transporte de sedimentos.

Quadro 3.17 – Comparação dos aspetos principais dos Planos de Emergência por país.

País	Aprovação PEI	Barragens alvo	Mapas de Inundação	Limite para a caracterização do vale a jusante	Aviso à população	Exercícios de simulacro	Revisão do PEI
<b>Portugal</b>	APA	$V > 0,1 \text{ hm}^3$ ou $H > 10 \text{ m}$ e $V > 1 \text{ hm}^3$ ou $H > 15 \text{ m}$  Classe I	Sim Esc. 1:25000	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Existência de barragem com capacidade de encaixe na albufeira e nos órgãos de descarga;</li> <li>– Confluência com um curso de água com capacidade de escoamento da cheia de rotura;</li> <li>- Local a partir da qual a onda de cheia não provoque quaisquer danos.</li> </ul>	Atingida nos primeiros 30 minutos e no mínimo 5 km	Periodicidade definida pelo Dono de Obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocorrência de um acidente;</li> <li>- Sequência de alterações significativas na ocupação do vale;</li> <li>- Sequência de nova informação adquirida em exercícios ou resultante da evolução dos conhecimentos;</li> <li>- Após 20 anos de exploração da barragem</li> </ul>
<b>Espanha</b>	DGOHCA	$H > 15 \text{ m}$ ou $10 < H < 15$ e $L > 500 \text{ m}$ ou $V > 1 \text{ hm}^3$ ou $Q > 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  Classe A e B	Sim Esc. 1:25000	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Existência de vivendas, serviços e outros bens abaixo do nível limite;</li> <li>- Caudal máximo inferior à capacidade do rio sem produzir inundações significativas nas margens e a jusante;</li> <li>- Entrada em estuário;</li> <li>- Entrada em albufeira capaz encaixar a onda de cheia sem provocar danos a jusante.</li> </ul>	Atingida nos primeiros 30 minutos	Periodicidade definida pelo Dono de Obra	5 anos
<b>Reino Unido</b>	EA	$V > 25000 \text{ m}^3$	Sim Esc. 1:10000	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Existência de barragem com capacidade de encaixe na albufeira e nos órgãos de descarga;</li> <li>– Confluência com um curso de água com capacidade de escoamento da cheia de rotura.</li> </ul>	Responsabilidade de Autoridades em toda a zona a jusante da barragem	Depende da Classe de Consequência 1 a 5 anos	Depende da Classe de Consequência 1 a 5 anos
<b>França</b>	Préfét de Région	$H \geq 10 \text{ m}$ e $H^2 \sqrt{V} \geq 200$ com $H$ em m e $V$ em $\text{hm}^3$	Sim Esc. 1:25000	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Existência de barragem com capacidade de encaixe na albufeira e nos órgãos de descarga;</li> <li>– Confluência com um curso de água com capacidade de escoamento da cheia de rotura.</li> </ul>	Zona atingida nos primeiros 15 minutos	10 anos	10 anos

Após análise da informação analisada e apresentada anteriormente para cada país, conclui-se que o nível de exigência no que concerne ao planeamento de emergência é relativamente uniforme nos países analisados. Os planos de emergência que resultam da aplicação da legislação ou das normas em vigor devem ser, de uma forma geral, simples mas detalhados, concisos e de fácil aplicação prática.

Analisando com detalhe as exigências no planeamento de emergência, nota-se que ao nível das entidades envolvidas, cabe ao Dono de Obra a responsabilidade pela elaboração dos mesmos, sendo a aprovação da responsabilidade de entidades públicas, normalmente sob tutela do Ministério do Ambiente ou equivalente. Os organismos responsáveis pela Proteção Civil têm que ter conhecimento dos Planos e emitem pareceres sobre os mesmos.

Uma das diferenças entre os países analisados, com impacto no número de barragens incluídas, é o critério de aplicação dos regulamentos constante na legislação dos diversos países. Em Portugal, Espanha e França o regulamento aplica-se ou não em função da altura da barragem e do volume da

albufeira, sendo depois feita uma nova distinção para efeito de aplicação dos Planos de Emergência Internos em função do número de pessoas em risco no vale a jusante. Por sua vez, no Reino Unido, o critério de aplicação dos regulamentos é unicamente o volume da albufeira e deve ser aplicado a partir de valores na ordem dos 25.000 m<sup>3</sup>. Conclui-se que a legislação em Portugal, neste âmbito, é mais detalhada e obriga a um levantamento e análise do vale a jusante e à realização de uma simulação de uma onda de cheia, mesmo para barragens onde poderá não ser obrigatória a realização de Plano de Emergência Interno, caso se verifique que existem menos de 25 pessoas atingidas pela onda de inundação.

No que diz respeito ao planeamento de emergência, existem diferenças entre os diversos países, que se podem dividir em dois grupos. Num primeiro grupo, onde se colocam Portugal e Espanha, o planeamento de emergência é obrigatório apenas para as barragens classificadas de acordo com uma categoria de risco que depende do número de pessoas e/ou bens afetados pela onda de inundação. No Reino Unido e França todas as barragens ou albufeiras que apresentem características dimensionais (altura ou volume) determinadas pelos respetivos regulamentos, deverão ter um plano de emergência, com maior ou menor detalhe dependendo do risco para as populações ou propriedades no vale a jusante no caso de rotura da barragem.

A estrutura dos Planos de Emergência é igualmente um ponto onde existem diferenças entre os países analisados. Em Portugal existem dois documentos que completam o Planeamento de Emergência, são eles o Plano de Emergência Interno e Plano de Emergência Externo, sendo o primeiro da responsabilidade do Dono de Obra e o segundo da responsabilidade da Proteção Civil. Esta divisão torna simples a interpretação e aplicação da regulamentação, uma vez que as responsabilidades e limites de atuação estão bem definidos.

Em Espanha o Planeamento de Emergência é composto por 2 documentos, sendo um de âmbito interno, equivalente ao Plano de Emergência Interno Português, com o nome Plano de Emergência de Barragens (*Planes de Emergencia de Presas*), e o outro (Plano Estatal ou Plano de Comunidade Autónoma perante o risco de inundação) de âmbito externo. A aplicação da regulamentação em Espanha, pelo facto do território estar dividido, administrativamente, em Comunidades Autónomas, implica que os procedimentos de comunicação em caso de emergência não sejam iguais em todas as barragens, ou seja, as entidades a avisar em caso de acidente não são as mesmas em todas as barragens. Isto obriga a que, na execução do plano de emergência, sejam analisadas com maior detalhe, comparativamente a Portugal, as entidades a avisar.

No Reino Unido o planeamento de emergência é concretizado através de um documento com o título Plano de Inundação de Albufeira (*Reservoir flood plan*) obrigatório para as barragens com albufeiras de capacidade superior a 25.000 m<sup>3</sup>. Este plano de emergência divide-se em três documentos, todos da responsabilidade do dono de obra: Avaliação de Impacto, Plano Interno e Plano Externo. Esta divisão é clara e de simples interpretação e faz com que o fluxo de informação seja mais rápido e evita o fornecimento de informação não relevante a algumas entidades. Por exemplo, a Avaliação de Impacto que é suficiente para as autoridades de proteção civil estruturarem as suas ações e planos de evacuação, é fornecida separadamente, tornando mais célere a análise por parte das mesmas.

Em França, o planeamento de emergência é materializado por parte do Dono de Obra através do Plano Particular de Intervenção, que é equivalente ao Plano de Emergência Interno previsto em Portugal. A estrutura do planeamento em França é semelhante, portanto, à Portuguesa.

Os cenários de acidente a considerar diferem entre os diversos países. Em Portugal o Guia Técnico recomenda a análise de um mínimo de dois cenários, um de rotura total da barragem e outro de ocorrência de cheia de projeto do descarregador de cheia.

Em Espanha, a bibliografia sugere um mínimo de quatro cenários a considerar para análise da onda de inundação. Para análise dos riscos provocados por rotura, consideram-se dois cenários extremos: rotura sem cheia e rotura em situação de cheia. Para a análise de riscos com origem em avarias graves,

recomenda-se um cenário: rotura das comportas (descargas de fundo, intermédias e de superfície). Caso existam barragens em cascata deverá ser considerado um cenário adicional de rotura encadeada de barragens. O nível de exigência relativamente à análise de cenários é mais detalhado em Espanha, comparativamente com os restantes países.

No Reino Unido e França a legislação apenas obriga à análise de um cenário de rotura, correspondente à falha ou rotura que provoque a maior descarga possível. Este será o cenário mais desfavorável. Pode-se considerar que é uma análise mais simples e conservadora.

Em Espanha e no Reino Unido é bastante comum existirem barragens em cascata, estando definidos os procedimentos a realizar nestes casos. Em Portugal não existem procedimentos previstos na legislação para análise de barragens em cascata, ficando a sua análise ao critério do dono de obra e aprovação da APA. Este facto pode ser considerado uma lacuna quando se analisam alguns dos principais rios no norte de Portugal.

Relativamente ao hidrograma de cheia e à onda de inundação, o PEI deverá conter a modelação hidrodinâmica para dois cenários de rotura em diferentes secções transversais do rio, com um intervalo adequado, devendo preferencialmente coincidir com elementos em risco. Esta modelação deve ser realizada, até à secção a partir da qual exista uma barragem ou curso de água com capacidade para encaixe ou escoamento da cheia de rotura sem impactes significativos. A legislação e restante bibliografia consultada não refere qual o modelo a utilizar ou qual a caracterização geométrica e temporal da rotura. No entanto deve ser identificada a metodologia de modelação utilizada e as razões do seu uso, bem como a identificação do *software* utilizado.

Em Espanha é definida a geometria e dimensão da brecha para a caracterização dos cenários de rotura, dependendo do tipo de barragem. O método numérico para modelação da onda de cheia deverá ser selecionado tendo por base, em primeiro lugar, a utilização de modelos devidamente testados e validados; em segundo lugar, deve-se ter em conta a fiabilidade dos parâmetros de entrada do modelo. O guia técnico recomenda a utilização do modelo DAMBRK.

No Reino Unido e França a modelação da onda de inundação é igualmente essencial. É a partir da onda de inundação que são definidas as zonas passíveis de ser inundadas. A modelação será realizada na fase de Avaliação de Impacto (Reino Unido) ou Análise de Risco (França), e prevê a apresentação do hidrograma de cheia para todos os cenários considerados bem como o caminho crítico. Deve ser descrita a metodologia e valores adotados na análise da modelação ao longo do vale a jusante, incluindo o *software* e o levantamento do terreno e análise do transporte de sedimentos.

No que diz respeito aos dados de base para a modelação destaca-se o facto de Portugal e França não especificarem os dados de entrada necessários para o modelo. Fica ao critério dos técnicos responsáveis pela elaboração dos Planos de Emergência Internos a escolha do modelo e respetivos dados de entrada. O Reino Unido, por sua vez, apresenta um nível de detalhe superior aos restantes, que será apresentado no capítulo seguinte.

Relativamente aos dados de saída da modelação hidrodinâmica, Espanha é o país onde o nível de detalhe é inferior, Portugal e França são semelhantes e o Reino Unido é o que tem o maior nível de exigência, conforme será apresentado no capítulo 4.7.

Em suma, as diferenças no planeamento de emergência entre os países analisados não são em termos quantitativos mas sim qualitativos, no tipo de informação dos planos de emergência e na organização e estrutura dos mesmos. Estas diferenças poderão dever-se ao enquadramento legislativo pré-existente, ao histórico de incidentes, ao clima e outros aspetos singulares de cada país analisado. De uma forma geral, o nível de exigência do Reino Unido é superior aos restantes.



## **4. APLICAÇÃO À BARRAGEM DA BRAVURA**

---

### **4.1 Introdução**

Neste capítulo serão apresentadas as linhas gerais de um plano de emergência interno de uma barragem portuguesa, a barragem de Bravura de acordo com a organização indicada na legislação nacional apresentada anteriormente.

Em cada um dos capítulos do plano de emergência interno será realizada uma comparação/análise crítica em relação ao planeamento de segurança de barragens que seria necessário realizar nos países que foram apresentados no capítulo 3, Espanha, França e Reino Unido.

Posteriormente, no capítulo 5, será dado especial destaque à parte referente à Modelação dos Cenários Escolhidos, realizando-se uma caracterização da onda de cheia utilizando as metodologias e apresentando os dados de saída exigidos em cada um dos países analisados.

### **4.2 Identificação do dono de obra e responsável pelo Plano de Emergência Interno**

O primeiro capítulo proposto para o PEI destina-se a identificar o dono de obra e o responsável pelo mesmo. Os donos de obra mais comuns são as empresas produtoras de energia, como a EDP ou Iberdrola e as associações de regantes, como é o caso da barragem em estudo, cujo dono de obra é a Associação de Regantes e Beneficiários do Alvor (ARBA).

Em Portugal, o dono de obra é, ao abrigo do nº 4 do art.º 5º do decreto-lei 344/2007, a entidade responsável pela obra perante a Autoridade, uma vez que é titular da licença de construção ou exploração da barragem. Nesse sentido, é o dono de obra que deve designar o responsável pelo PEI, devendo, no entanto, submeter o mesmo à aprovação da Autoridade, que analisará a qualificação e experiência profissional do técnico, com o intuito de averiguar se o mesmo se adequa à importância da obra.

As responsabilidades dos intervenientes são semelhantes em Portugal, Espanha, França e Reino Unido, com os donos de obra a serem os principais responsáveis pelo planeamento de emergência das barragens.

### **4.3 Descrição geral da barragem**

A descrição da barragem é essencial para servir de ponto de partida para o planeamento de emergência, pelo que é necessário obter o máximo de informação sobre a mesma. Esta tarefa pode-se tornar difícil no caso de barragens construídas há várias décadas.

A Barragem da Bravura, ou também denominada de barragem de Odiáxere, situa-se no distrito de Faro, concelho de Lagos, na região denominada Monte da Bravura e é alimentada pelo curso de água ribeira de Odiáxere, cujo comprimento é de 27 km.

A Barragem da Bravura é uma barragem de betão em arco, com uma altura de 36 m acima do solo, 150 m de comprimento de coroamento e 5 m de largura.

A bacia hidrográfica principal apresenta uma área de 76,8 km<sup>2</sup>.

Na Figura 4.1 apresenta-se a albufeira da Barragem da Bravura. Esta encontra-se classificada como albufeira de águas públicas protegida, tendo uma capacidade total de 34,825 hm<sup>3</sup>.



Figura 4.1 – Albufeira da Barragem da Bravura.

O RSB determina a obrigatoriedade de elaboração de um PEI para barragens de Classe I, ou seja, barragens com uma população igual ou superior a 25 habitantes possível de ser afetada pela onda de cheia resultante do cenário de acidente mais desfavorável. Analisando o vale a jusante é expectável que esta barragem seja de classe I.

Se se considerasse a regulamentação de Espanha, o Plano de Emergência da Barragem só seria necessário caso a Barragem da Bravura estivesse englobada numa classe de risco A ou B, ou seja, só se, em caso de rotura ou funcionamento incorreto, pudesse afetar gravemente núcleos urbanos, serviços essenciais, produzir danos materiais ou ambientais importantes (classe A) ou provocar danos materiais ou ambientais importantes ou afetar um número reduzido de habitações (classe B), o que é o caso.

Caso se considerasse a legislação em vigor no Reino Unido e França, onde a elaboração de Planos de Emergência está relacionada com a altura da barragem ou com o volume da albufeira, respetivamente, seria obrigatória a realização de Plano de Emergência para a Barragem da Bravura, uma vez que a altura da barragem e volume da albufeira são significativamente superiores aos valores a partir dos quais é necessária a sua elaboração, conforme se apresenta no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Cálculo dos requisitos de obrigatoriedade de realização de Planos de Emergência Internos.

<b>Características da Barragem da Bravura e albufeira</b>	<b>H = 36 m</b>	<b>V = 38,325 hm<sup>3</sup></b>
Requisitos Reino Unido	-	V > 0,025 hm <sup>3</sup> V = 38,325 hm <sup>3</sup> : Verifica
Requisitos França	H > 10 m H = 36 m : Verifica	$H^2\sqrt{V} \geq 200$ $36^2\sqrt{38,325} = 8023$ : Verifica

Na Figura 4.2 apresenta-se uma vista geral sobre a Barragem da Bravura do lado montante.



Figura 4.2 – Vista da Barragem da Bravura.

No que diz respeito à informação necessária para caracterizar a barragem, apresenta-se no Quadro 4.2 a informação necessária em cada país analisado.

Quadro 4.2 – Informação descritiva da barragem a indicar em cada país.

	País				
Informação		Portugal	Espanha	Reino Unido	França
Localização da barragem		x	x	x	x
Tipologia		x	x	x	x
Data construção		x	x	x	x
Capacidade total e útil		x	x	x	x
Nível de Pleno Armazenamento		x	x	x	x
Nível de Máxima Cheia		x	x	x	x
Nível Mínimo de Exploração		x	x	x	x
Utilização da água da albufeira		x	x	x	
Informação sobre barragens a montante e a jusante		x	x	x	x
Existência e localização de Plano de Observação e Controlo		x	x	x	x
Sistema de alimentação elétrica		x	x	x	x
Nome oficial da barragem		x	x		
Identificação do titular		x	x	x	x

Quadro 4.2 (cont.) – Informação descritiva da barragem a indicar em cada país.

	País	Portugal	Espanha	Reino Unido	França
Informação					
Identificação do Diretor do Plano		x	x	x	x
Concessão que dá lugar à titularidade		x	x	x	x
Classificação em função do risco		x	x	x	x
Mapa de acessos		x	x	x	x
Órgãos de descarga		x	x	x	x
Elementos de comunicação interna e externa			x	x	x
Características hidrológicas e sísmicas			x	x	x
Caracterização do vale a jusante		x	x	x	x
História sucinta do comportamento da barragem			x	x	
Identificação de responsáveis de exploração		x	x	x	x
Identificação de instalações de assistência social				x	

## 4.4 Plano de Monitorização e Controlo de Segurança

O terceiro capítulo do PEI pretende apresentar uma descrição dos sistemas de monitorização dos níveis hidrométricos, aflúncias à albufeira e caudais descarregados, devendo existir, para esse efeito, procedimentos implementados, dispositivos e equipamentos adequados às características da barragem, nomeadamente para medição de níveis de água e caudais efluentes e pessoal técnico qualificado que deverá seguir as instruções de monitorização.

Este capítulo do PEI tem igualmente como objetivo descrever o sistema de controlo de segurança estrutural, implementado de acordo com o plano de observação previsto no artigo 18º do RSB.

O plano de observação deverá fazer parte do projeto da barragem e, de acordo com o RSB, aplica-se a todas as barragens sobre as quais o regulamento incide, independentemente da classe de risco associada. Do plano de observação deverão fazer parte todas as indicações relativas à inspeção visual, tais como a periodicidade, tipo de inspeção, principais aspetos a inspecionar e forma de apresentação dos resultados.

Fazendo a analogia com a legislação em Espanha, a monitorização e controlo de segurança da barragem encontra-se igualmente prevista, no entanto apresenta maior detalhe que o exigido em Portugal. De acordo com o guia técnico, a monitorização começa pela definição de todas as situações que possam conduzir à redução da segurança da barragem, seguindo-se a identificação das emergências e dos indicadores e termina com o estabelecimento de limites a partir dos quais os fenómenos se tornam perigosos.

Para a definição das situações que podem conduzir à ocorrência de situações de emergência o guia técnico apresenta duas tabelas, publicadas pela *ICOLD* em 1983 e 1995, respetivamente, com a classificação das causas de deterioração da barragem e albufeiras e de rotura de barragens, que podem servir de guia na elaboração deste capítulo do PEI.

Para a identificação das emergências, os indicadores podem classificar-se, de acordo com o guia, em quantitativos, no caso em que derivam de leitura direta da instrumentação instalada e qualitativos, nos casos em que resultam de interpretação das inspeções visuais e periódicas.

Para determinar os limites de cada um dos indicadores definidos no PEI, devem ser estabelecidos os valores a partir dos quais cada um dos indicadores passa de uma situação de normalidade para cada um dos cenários de acidente previamente estabelecidos. O guia apresenta recomendações para o estabelecimento desses limites bem como a sua correlação com os Níveis de Segurança.

No que diz respeito ao preconizado no Reino Unido e em França relativamente à monitorização e controlo de segurança, existe um capítulo em cada um dos respetivos planos de emergência onde o dono de obra deverá indicar a instrumentação instalada e a frequência de leitura bem como da inspeção visual. Não existe, no entanto, tal como preconizado em Portugal, a obrigatoriedade de produzir um documento com a especificidade de descrição do Plano de Observação da barragem.

## 4.5 Caracterização do Vale a Jusante da Barragem

A caracterização do vale a jusante da barragem é um elemento fundamental para todo o desenvolvimento do planeamento de emergência. Desde logo porque o primeiro passo para definir se a barragem necessita de um PEI é a classificação da mesma em função dos danos potenciais provocados no vale a jusante pela onda de cheia em caso de acidente e no cenário mais desfavorável. Neste sentido, para avaliar os danos potenciais provocados tem que se definir e caracterizar com rigor o vale a jusante numa área previamente definida que resulta da modelação da onda de cheia.

O *Guia de orientação para elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens* preconiza que os aspetos a considerar para a caracterização da barragem deverão incluir uma descrição desde as populações às infraestruturas em risco a jusante da barragem, devendo incluir uma caracterização geral da zona envolvente da albufeira.

A caracterização do vale a jusante será realizada até que se verifique um dos seguintes casos:

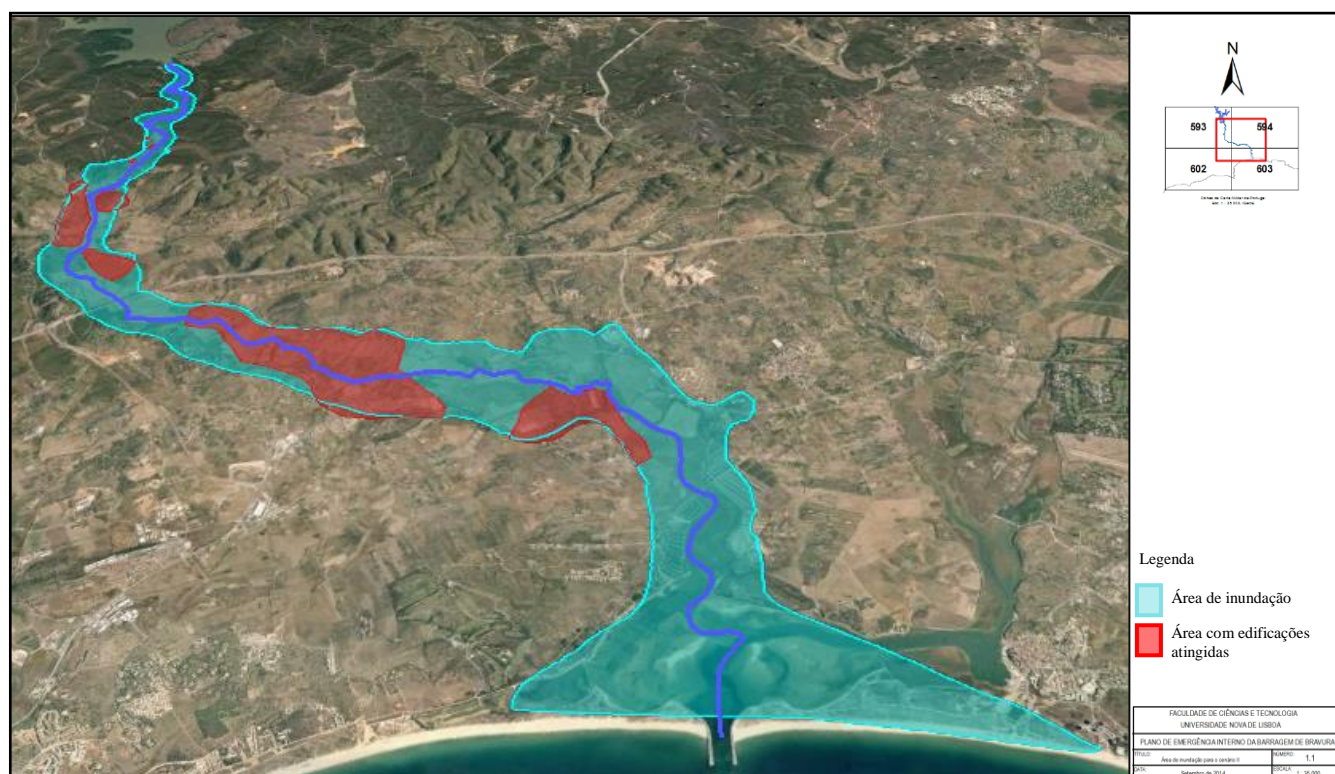
- i) Existência de barragem com capacidade de encaixe na albufeira e com capacidade de descarga nos órgãos de operação;
- ii) Confluência com um curso de água com capacidade de escoamento da cheia de rotura sem impactes significativos;
- iii) Local a partir do qual a onda de cheia não provoque quaisquer danos.

Na análise realizada aos restantes países, constata-se que a informação que é necessária para caracterizar o vale a jusante e a zona envolvente da albufeira é mais detalhada e em maior quantidade do que é exigido em Portugal. Um aspeto que contribui para a aparente falta de informação existente no Plano de Emergência Interno em Portugal, quando comparado com outros planos, está relacionado com o facto da legislação portuguesa prever a existência de um Plano de Emergência Externo, onde deverá constar, por exemplo, a caracterização e informação referente às barragens da mesma bacia hidrográfica.

As principais diferenças entre a informação necessária em Portugal e nos restantes países são a caracterização hidrológica e sísmica do local e a inclusão de análise às barragens existentes a montante e o histórico do comportamento da barragem, com indicação de acidente ou incidentes ocorridos, das medidas adotadas para a sua correção e do resultado das mesmas.

Na Figura 4.3 exemplifica-se a caracterização do vale a jusante da barragem da Bravura, com indicação das áreas com habitações que poderiam ser atingidas pela onda de inundação num dos cenários analisados.





## 4.6 Identificação dos cenários de acidente considerados

A metodologia de seleção de cenários de acidente a considerar para a modelação da onda de cheia não é igual em todos os países analisados, como referido anteriormente. As diferenças estão na quantidade de cenários a analisar e nas características resultantes da análise de um cenário semelhante. Em Portugal devem ser considerados no mínimo dois, sendo um correspondente a uma rotura parcial ou total da barragem e outro o resultante da descarga máxima da barragem. No Quadro 4.3 apresenta-se uma comparação dos cenários a considerar para o caso da Barragem da Bravura utilizando a metodologia de cada um dos países analisados.

Quadro 4.3 – Cenários a considerar com as diferentes metodologias.

País	Cenário			
	<i>Rotura em dia de sol</i>	<i>Rotura por galgamento</i>	Descarga máxima da barragem	Roturas em cascata
<b>Portugal</b>		X	X	
<b>Espanha</b>	X	X	X	X
<b>Reino Unido</b>		X		X
<b>França</b>		X	X	

## 4.7 Modelação dos cenários escolhidos

Este capítulo pode ser considerado o de maior relevância para analisar os Planos de Emergência Internos, uma vez que a definição da onda de cheia, em caso de rotura de barragem, é um elemento que servirá de base à elaboração do PEI.

De acordo com o RSB em vigor em Portugal, o PEI deverá conter a modelação hidrodinâmica da onda de cheia resultante de cenários de acidente previamente indicados no capítulo anterior. O *Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens*, indica que devem ser adotados, por questões práticas, apenas dois cenários de acidente.

Para os dois cenários considerados deverão ser efetuados estudos que contenham a caracterização hidrodinâmica da onda de cheia com toda a informação referida no capítulo 3.2.3, em diferentes secções transversais do rio, com um intervalo adequado, devendo preferencialmente coincidir com elementos em risco.

Para a caracterização do processo de cheia é necessário definir, em primeiro lugar, o tipo de rotura, o qual não se encontra especificado na legislação portuguesa, quanto à sua caracterização geométrica e temporal, dependendo, fundamentalmente, da causa da rotura e do tipo de barragem. No caso de estudo, sendo uma barragem de betão em arco, espera-se uma rotura total e rápida.

Em Espanha, de acordo com o guia técnico para elaboração de planos de emergência de barragens, é definida a geometria e a dimensão da brecha para a caracterização dos cenários de acidente, dependendo igualmente do tipo de barragem. De acordo com o guia, numa barragem de betão em arco espera-se que resulte numa rotura total e rápida com tempos aproximados de 5 a 10 minutos, admitindo-se uma brecha com forma trapezoidal. O método numérico para modelação da onda de cheia deverá ser selecionado tendo por base, em primeiro lugar, a utilização de modelos devidamente testados e validados. Em segundo lugar, deve-se ter em conta a fiabilidade dos parâmetros de entrada do modelo. O guia técnico indica, como apoio na escolha do modelo, uma série de considerações a ter em conta, citando-se, como exemplo para barragens de classe A, a indicação de que o modelo hidráulico a utilizar deverá ter características semelhantes ao DAMBRK<sup>6</sup>.

No Quadro 4.4 apresenta-se um resumo dos dados de entrada e da informação de saída resultante da análise efetuada aos estudos das ondas de inundação em cada um dos países analisados.

Quadro 4.4 – Critérios para a modelação da onda de cheia por país.

País	Modelo a utilizar	Dados de entrada especificados nos regulamentos	Informação saída
Portugal	1D	- Cartografia a escala 1:25.000 A legislação não especifica quais os dados de entrada.	- Instante de chegada da frente da onda de cheia [00h00m] - Instante de chegada do pico da onda de cheia [00h00m] - Nível máximo da cheia [altura e cota em metros] - Duração da cheia [00h00m] - Velocidade máxima da onda de cheia [m/s] - Altura máxima da onda de cheia [m] - Caudal máximo atingido [m <sup>3</sup> /s] - Hidrograma com a representação gráfica do comportamento hidrodinâmico (caudal e altura) da onda de cheia em função do tempo
Espanha	1D	- Tipo de barragem	- Mapa com inundação máxima e tempo de chegada da

<sup>6</sup> DAMBRK (Boss Dambrk, 1991), é um modelo numérico que foi desenvolvido pelo US National Weather Service utilizado na simulação computacional de ondas de cheia.

Quadro 4.4 (cont.) – Critérios para a modelação da onda de cheia por país.

País	Modelo a utilizar	Dados de entrada especificados nos regulamentos	Informação saída
	(sugere DAMBRK)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume da albufeira</li> <li>- Nível da água na altura da rotura</li> <li>- Levantamento topográfico das secções transversais com requisitos definidos</li> <li>- Rugosidade</li> <li>- Obstruções a jusante, exceto se obstruir menos de 20% da superfície do curso de água ou se a albufeira criada por essa obstrução em caso de rotura representar menos de 5% do volume da onda de cheia</li> </ul>	<p>onda de cheia</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nos pontos críticos (povoações, zonas industriais, serviços essenciais, vias de comunicação) indicar cotas, caudal e cotas máximas, velocidade máxima</li> <li>- Mapa de inundação progressiva, correspondente às áreas inundáveis aos 30 minutos, 1 hora e horas seguintes</li> </ul>
Reino Unido	1D	<p><b>Dados de entrada para modelação da descarga na rotura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nível de água na albufeira vs. área da albufeira ou volume</li> <li>- Elevação ou secção longitudinal ao longo do eixo da barragem</li> <li>- Secções transversais da barragem, de montante para jusante, incluindo (onde disponível): detalhes dos materiais de enchimento; construção do topo da barragem e nível de abertura da fundação</li> <li>- Nível máximo, Nível de pleno armazenamento e outros níveis críticos</li> <li>- Tipo e dimensões das descargas, curvas de vazão, detalhes das descargas de emergência</li> <li>- Entrada e saída de água previstas no dimensionamento da barragem ou no planeamento de emergência</li> </ul> <p><b>Dados de entrada para modelação da onda de cheia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cartografia à escala 1:10.000 em formato digital</li> <li>- Modelo digital do terreno</li> <li>- Levantamento de campo de secções e estruturas ao longo do canal</li> <li>- Dimensões de plataformas de transporte ao longo do curso de água, incluindo pontes</li> <li>- Dimensões e tipo de construção dos edifícios dentro da malha urbana que se desenvolve ao longo do curso de água e que possa obstruir o fluxo de água</li> <li>- Ortofotomapas ou fotografias aéreas</li> <li>- Mapeamento de inundações para cheias com períodos de retorno de 100 e 1000 anos</li> <li>- Modelação prévia do rio (se disponível)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados georreferenciados à escala da <i>Ordnance Survey</i><sup>7</sup> (em formato de sete dígitos, apropriado para o uso de GIS)</li> <li>- Distância à barragem (medida ao longo do fluxo de água)</li> <li>- O instante inicial e o instante do pico de inundação; o instante inicial pode ser qualquer valor conveniente, mas os instantes iniciais da falha e do pico da onda de cheia para a albufeira mais a jusante devem estar registados na mesma escala temporal</li> <li>- O caudal máximo, velocidade máxima da onda de cheia e altura máxima da onda de cheia nas secções transversais e nas zonas de fronteira para cada cenário analisado</li> <li>- Para toda a zona de inundação: a população total em risco, a probabilidade de perda de vidas, o nível médio de destruição de propriedades (inundações, destruição estrutural parcial ou total) e o valor monetário de danos provocados a terceiros</li> <li>- Hidrograma de cheia com a representação gráfica do comportamento hidrodinâmico (caudal e altura) da onda de cheia em função do tempo</li> </ul>
França	1D ou 2D <sup>8</sup>	<p>A legislação não especifica quais os dados de entrada. Indica no entanto que “os dados de entrada deverão ser retirados da informação disponível nos capítulos anteriores do PEI”, por exemplo, descrição da barragem, caracterização do vale a jusante, volume e níveis da albufeira, rugosidade, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velocidade ou caudal da onda de cheia</li> <li>- Altura máxima de inundação</li> <li>- Instante de chegada da onda</li> <li>- Duração da submersão</li> <li>- Caracterização do hidrograma de cheia provocado pela rotura da barragem em cada cenário considerado</li> <li>- Descrição e mapeamento da natureza das áreas potencialmente danificadas ou destruídas.</li> <li>- Estudo da onda de inundação realizado até ao limite a partir do qual a inundação se apresenta com um risco limitado para as populações.</li> </ul>

A modelação dos cenários será aprofundada, para o caso da Barragem da Bravura, no Capítulo 5.

## 4.8 Caracterização do cenário mais desfavorável

Depois de realizada a caracterização referida anteriormente, com o conhecimento da altura e velocidade de propagação da onda em cada troço e do seu tempo de chegada, apresenta-se um capítulo

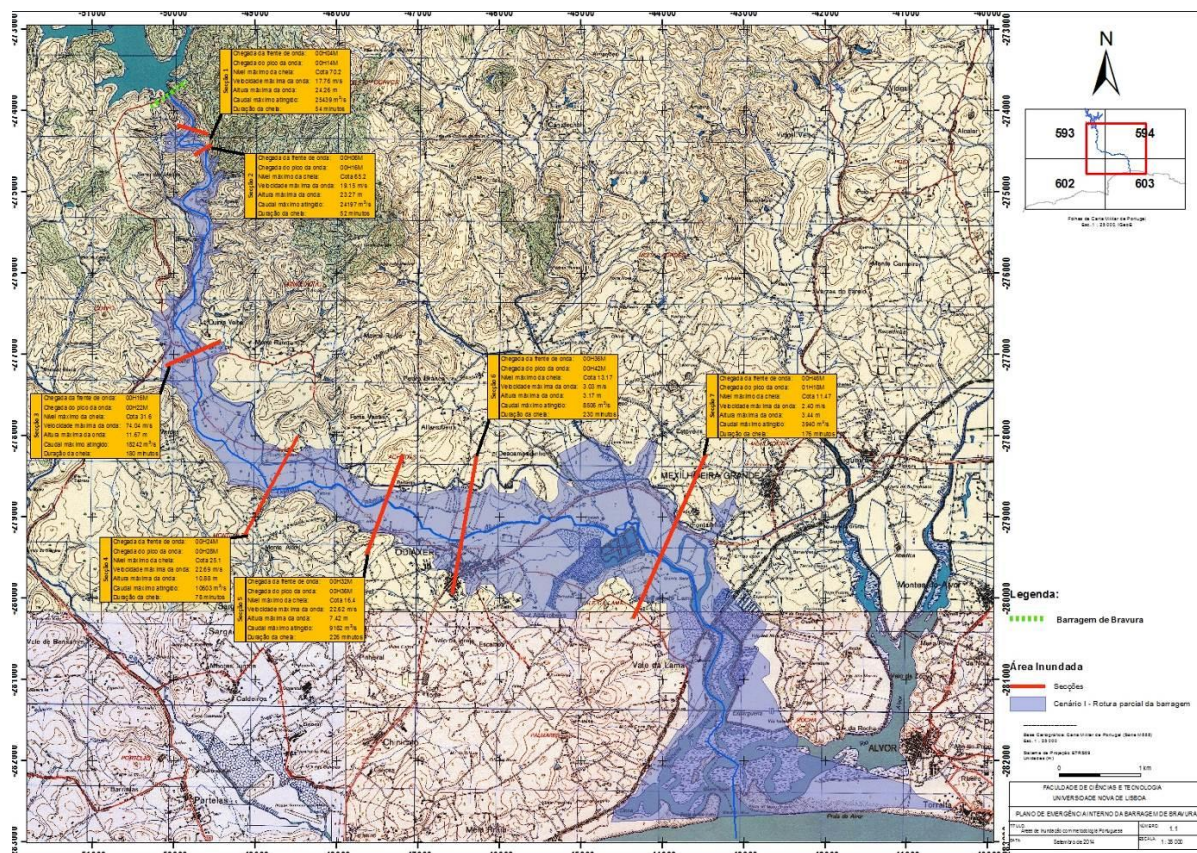
<sup>7</sup> *Ordnance Survey* é a instituição no Reino Unido responsável pelo cadastro do terreno a nível nacional. Equivalente ao Instituto Geográfico do Exército em Portugal.

<sup>8</sup> Normalmente usam-se modelos 1D. Modelos 2D deverão ser usados em situações onde o vale a jusante é mais plano.



O procedimento de caracterização do cenário mais desfavorável requer a observação da modelação realizada no capítulo anterior, de onde se retiram as alturas máximas atingidas pela onda de inundação em cada um dos cenários de acidente considerados.

Na Figura 4.4, apresenta-se um exemplo de representação da inundação provocada pelo cenário mais desfavorável.



#### 4.9 Procedimento de avaliação e classificação dos acidentes

47

Para além da definição dos níveis de alerta, é recomendada em Portugal o desenvolvimento de tabelas adicionais que relacionem as situações resultantes da inspeção visual com o nível de alerta, como se exemplifica no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Relação entre situações resultante de inspeção e Níveis de Alerta.

Evento	Nível da albufeira	Monitorização	Ações
Descarga anormal da barragem	31 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar alteração do nível da albufeira 10 em 10 minutos;</li> <li>• Monitorização de pontos críticos a jusante</li> </ul>	Se nível da albufeira aumentar passar para <b>Nível de Alerta 1</b> ;

Em Espanha também existem procedimentos de avaliação e classificação das situações de emergência dividida por 4 níveis de segurança (Nível 0 a Nível 3). No Reino Unido e França a avaliação e classificação dos acidentes é realizada numa primeira fase antes do Plano de Emergência Interno, nomeadamente na Avaliação de Impacto ou Análise de Risco respetivamente. No entanto, os níveis de alerta em função da situação de emergência não se encontram definidos de forma tão clara como em Portugal ou Espanha.

#### 4.10 Identificação dos procedimentos em caso de acidente

Os procedimentos internos a realizar em caso de acidente deverão ser expressos preferencialmente através de um fluxograma ou tabela onde sejam detalhadas as hierarquias e funções de todos os elementos. Esta apresentação, para além de facilitar a leitura, torna mais célere a atuação em caso de acidente. No Quadro 4.6 apresenta-se, a título de exemplo, uma tabela com procedimentos a ter em caso de acidente. Este procedimento é indicado em todos os países analisados.

Quadro 4.6 – Exemplo de procedimentos em caso de acidente para a Barragem da Bravura.

Nível de Alerta	Recursos	Procedimento
Nível 0	Não há motivo para alarme: Recursos normais de exploração,	Não há motivo para alarme: Procedimentos normais de exploração.
Nível 1	Mobilizar os seguintes funcionários da ARBA: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encarregado de barragem;</li> <li>• Ajudante de Encarregado de barragem;</li> <li>• Fiscal de Rega;</li> <li>• Chefe de Exploração e Conservação.</li> </ul>	O chefe de exploração e conservação deverá requerer os meios internos necessários, nomeadamente o reforço de funcionários até ao limite de efetivos disponíveis e em <i>outsourcing</i> . O Diretor adjunto deverá ser informado da ocorrência, o qual e função da gravidade informará o Presidente da Direção.
Nível 2	Todos os meios técnicos, materiais e humanos da ARBA serão mobilizados. Caso necessário recorrer a meios externos. O Presidente da Direção assume o controlo das operações.	Procedimentos necessários para lidar com a situação adversa. Ativar a cadeia de comunicação com o sistema de proteção civil.
Nível 3	Todos os meios técnicos, materiais	Alerta às autoridades conforme fluxograma de

Nível de Alerta	Recursos	Procedimento
	e humanos da ARBA serão mobilizados. Caso necessário recorrer a meios externos. O Presidente da Direção assume o controlo das operações.	comunicação. Aviso à população na ZAS. É ativado o PEE e são evacuadas as pessoas em risco no vale a jusante.

#### 4.11 Identificação dos recursos humanos e técnicos para o alerta ao sistema de Proteção Civil

Este capítulo tem como objetivo identificar os recursos humanos e técnicos responsáveis pelo alerta às autoridades responsáveis pela proteção civil. A informação deverá ser apresentada sob a forma de uma tabela ou fluxograma com a designação os recursos e contactos, conforme se exemplifica na Figura 4.5.

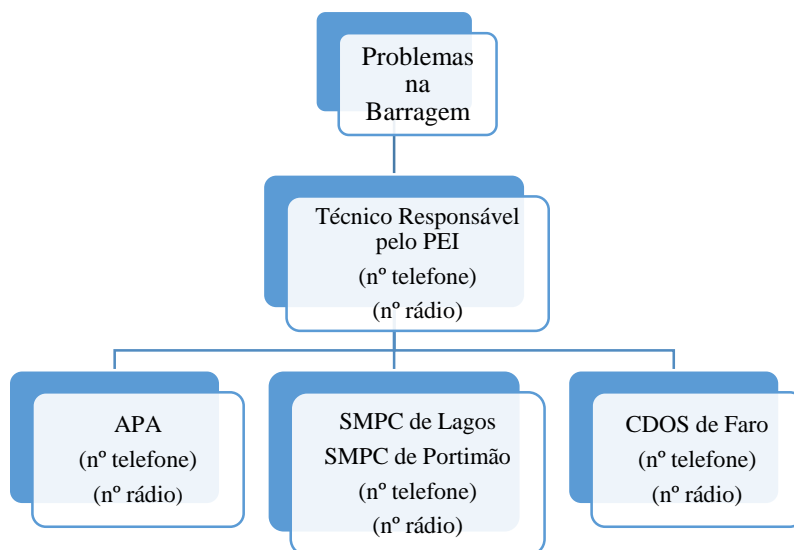


Figura 4.5 – Fluxograma de notificação e alerta às entidades responsáveis no caso da Barragem da Bravura.

Em Espanha, Reino Unido e França, os respetivos planos de emergência deverão conter identificação dos meios e recursos afetos ao plano bem como os fluxos de comunicação com as autoridades responsáveis pelo planeamento de emergência externo.

#### 4.12 Identificação dos recursos humanos e técnicos para o aviso às populações

Neste capítulo deverá estar identificada a extensão de aviso sob responsabilidade do Dono de Obra, bem como os meios humanos e técnicos necessários para efetuar o aviso às populações em caso de emergência (sirenes, viaturas com megafones entre outros).

Em Portugal, o zonamento das responsabilidades de aviso à população distribui-se conforme

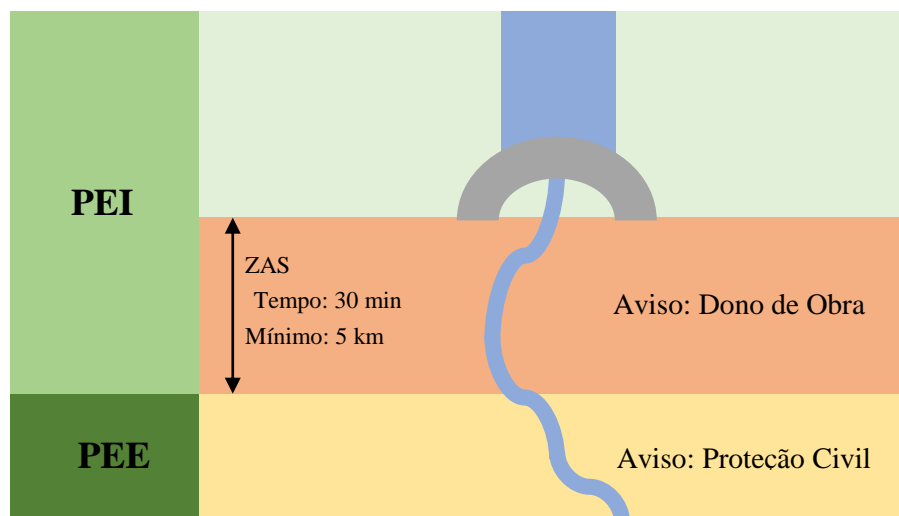


Figura 4.6 – Zonamento da responsabilidade do aviso à população em caso de emergência em Portugal.

apresentado na Figura 4.6.

Os limites das Zonas de Auto-Salvamento nos países analisados, onde é da responsabilidade do Dono de Obra o aviso às populações afetadas em caso de emergência, são apresentados na Figura 4.7.

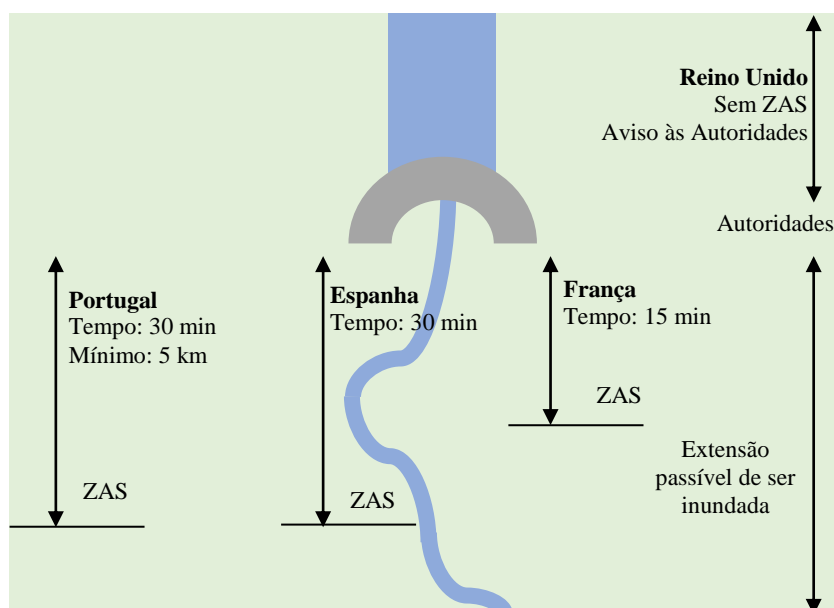


Figura 4.7 – Zona limite do aviso sob responsabilidade do Dono de Obra por País.

Em cada uma das zonas identificadas na figura, o Dono-de-Obra deverá indicar quais os procedimentos de aviso, ou seja, se o aviso é feito, por exemplo, através de sirenes instaladas em locais chave com acionamento automático ou manual, ou com megafones ou altifalantes instalados em veículos.

Em Portugal, Espanha e Reino Unido o acionamento do sistema de aviso pode ser manual, realizado a partir da Sala de Controlo. Em França o sistema de aviso deve ser automático.

### **4.13 Exercícios de simulacro e ações de sensibilização da população**

Neste capítulo deverá ser indicada a periodicidade de realização de exercícios de simulacro.

Em Portugal estes exercícios são realizados de forma coordenada com as entidades de proteção civil da ZAS. Os exercícios são realizados para cada cenário de rotura considerado na simulação e deverá existir um documento orientador sobre a sensibilização e autoproteção das populações da ZAS.

Em Portugal e Espanha a periodicidade dos exercícios de simulacro é proposta pelo dono de obra e sujeita a aprovação. No Reino Unido a periodicidade depende da classe de risco da barragem, variando desde entre 1, 5 e 10 anos, sendo menor quanto maior a classe de risco. Em França a periodicidade é de 10 anos.



## 5. SIMULAÇÃO DA ONDA DE CHEIA

### 5.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a simulação da onda de cheia na barragem de Bravura, de acordo com o requerido na legislação nacional apresentada anteriormente. Essa simulação será comparada com o que é exigido nos restantes países analisados.

O objetivo é realizar um mapeamento da área de inundação, que assinala as áreas passíveis de ficar submersas no cenário de acidente mais desfavorável – rotura quase total da barragem – para posterior atribuição da classe de risco referida no RSB. Para tal é necessário simular a onda de inundação resultante dessa rotura.




A onda de inundação é, de acordo com a definição do RSB, “a onda de cheia resultante de um acidente que pode provocar perdas em vidas humanas, bens e ambiente” provocada por uma ocorrência excecional na barragem ou envolvente cuja evolução não se consegue controlar, que resulta numa libertação de água descontrolada com impacte no vale a jusante.

A simulação da rotura da barragem e estimativa do hidrograma de cheia resultante da rotura quase total da barragem foi realizado através do modelo numérico DAMBRK (*Boss Dambrk*, 1991) desenvolvido pelo *US National Weather Service*.

A simulação da onda de cheia provocada pela rotura quase total da barragem será feita através do programa HEC-RAS (Brunner, 2010).

Existem diversas fases para a simulação da onda de cheia, desde o levantamento topográfico até à apresentação dos mapas de inundação. No Quadro 5.1, apresentam-se as diversas fases e os programas informáticos utilizados.




Quadro 5.1 – Etapas na modelação da onda de cheia.

Fase	Equipamento / Programa	Descrição
1ª	Topografia 	Levantamento topográfico ao longo da linha de água, desde a barragem até ao limite da zona de estudo. Transversalmente será realizado desde as margens até uma distância que se considere não ser atingida pela onda de inundação, por exemplo pode-se considerar o limite onde a cota seja aproximada do nível máximo da albufeira <sup>9</sup> .
2ª	ArcGIS 	Este programa informático é utilizado para realizar a modelação digital do terreno com base no levantamento topográfico.
3ª	HEC-GeoRAS  US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center	O <i>software</i> HEC-GeoRAS, funciona como uma extensão do ArcGIS, possibilitando a aquisição de dados de entrada para o programa de simulação HEC-RAS
4ª	HEC-RAS	O <i>software</i> HEC-RAS, recebe os dados do terreno do ArcGIS / HEC-

<sup>9</sup> Este passo foi, simplifadamente, efetuado através da utilização da topografia presente nas cartas militares à escala 1:25 000.



Quadro 5.1. (cont.) – Etapas na modelação da onda de cheia.

	 US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center	GeoRAS, juntamente com os restantes dados de entrada relativamente à componente hidráulica e executa a simulação.
5 <sup>a</sup>	HEC-GeoRAS  US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center	Nesta fase o <i>software</i> permite fazer a ligação entre os resultados da simulação e o modelo digital do terreno existente no ArcGIS.
6 <sup>a</sup>	ArcGIS 	O ArcGIS nesta fase serve para apresentação dos mapas de inundação.

Para a caracterização da onda de inundação, devem ser apresentados os valores máximos da altura de água e a duração da inundação, com a representação gráfica destes dados ao longo do vale a jusante sobre cartografia adequada, resultando num mapa da área de inundação que mostra as zonas passíveis de ficar submersas.

Os cenários de acidente que serão considerados para efeito de simulação da onda de inundação são os seguintes:

- Cenário 1 – Rotura quase total da barragem em situação de cheia;
- Cenário 2 – Cheia natural extrema, caracterizada pela descarga máxima do descarregador de cheias (caudal de ponta igual a 21 m<sup>3</sup>/s).

A legislação em Espanha sugere a modelação de dois cenários para além dos supra referidos, nomeadamente, a rotura quase total da barragem considerando uma situação em que não existe cheia e a avaria na descarga de fundo no entanto, no âmbito da presente dissertação não serão apresentados, uma vez que, no seguimento de uma análise preliminar, se verificou que são menos desfavoráveis.

## 5.2 Modelo para simulação da onda de cheia

A simulação da rotura da barragem e estimativa do hidrograma efluente provocado por essa rotura foi realizada no LNEC, tendo sido utilizado o modelo numérico *DAMBRK* (Boss Dambrk, 1991), que foi desenvolvido pelo *US National Weather Service*.

O modelo utilizado para a simulação da onda de cheia foi o HEC-RAS. Trata-se de um *software* utilizado para a modelação hidráulica unidimensional de escoamento uniforme ou variável de água em rios ou qualquer tipo de canal de escoamento.

O HEC-RAS foi desenvolvido no *Hydrologic Engineering Center (HEC)*, pertencente ao *Institute for Water Resources (IWR)* do *U.S. Army Corps of Engineers*. O sistema de modelação HEC-RAS fez parte de um projeto de desenvolvimento de programas levado a cabo pelo *HEC*, dos quais também fazem parte programas como o HEC-HMS para análise hidrológica, HEC-ResSim para simulações de gestão de albufeiras de barragens e o HEC-FDA e HEC-FIA para análise de danos provocados por inundações.

O HEC-RAS é um programa composto por uma interface gráfica de utilizador, com componentes de análise separada, capacidade para gestão e armazenamento de dados e para fornecer relatórios e gráficos.

O sistema de dimensionamento contém quatro componentes para a análise unidimensional do escoamento: i) simulação da superfície da água em regime uniforme; ii) simulação em regime



variável; iii) modelação do transporte de sedimentos; e iv) análise da qualidade da água. Importa referir que as quatro componentes utilizam os mesmos dados de entrada (geometria, rugosidades, etc.).

O método de cálculo utilizado estabelece-se através da subdivisão do rio ou canal em troços cujos comprimentos são condicionados pela geometria do rio ou canal, sendo possível a interpolação automática entre as duas secções limítrofes de cada troço, com características conhecidas.

O programa baseia-se no teorema de Bernoulli, através do método das diferenças finitas para determinação das curvas de regolfo nos troços em que não há singularidades. As perdas de carga são calculadas através da fórmula de *Manning-Strickler*. Em cada troço, o declive médio da linha de energia é determinado em função da média das capacidades de vazão nas secções limítrofes desse troço.

Para o cálculo são necessários dados de entrada, que se dividem em dados gerais (coeficientes de rugosidade, regimes de escoamento, caudal, etc.) e dados relativos a cada secção de cálculo (número da secção, distâncias, etc.). Entre os resultados dos cálculos constam os valores de profundidade do escoamento, cota da superfície livre da água, perda de carga contínua, caudal total e de cada subsecção, velocidade média nas várias secções, área das secções molhadas, entre outros.

## **5.3 Dados de entrada do modelo**

### **5.3.1. Caracterização topográfica**

Para a caracterização topográfica é necessária informação dos 14 km de rio, margens e leitos de cheia entre a barragem e a foz. Esse trabalho teve como base a versão digital “raster” e “vetorial” das cartas militares à escala 1:25 000 dos Serviços Cartográficos de Portugal do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE).

A localização das secções de cálculo (perfis transversais) foi representada num Sistema de Informação Geográfica (SIG) sob o modelo digital do terreno, que foi produzido propositadamente para o desenvolvimento do PEI da Barragem da Bravura em curso no LNEC e disponibilizado para desenvolvimento da presente dissertação.

### **5.3.2. Rugosidade dos leitos principal e de cheias**

A escolha das características hidráulicas do vale, definidas por coeficientes de rugosidade, é muito delicada. Estes coeficientes terão de englobar não só a rugosidade dos terrenos inundáveis, como a rugosidade do fundo do vale e as perdas de carga locais.

Para a escolha do coeficiente de rugosidade de Manning,  $K$ , foram analisadas as propriedades dos leitos inundáveis através de observação *in-situ* e de fotografia aérea. Comparando essas propriedades com os locais onde o coeficiente foi calibrado (*e.g.* Arcement e Schneider, 1987), foi decidido que o coeficiente de rugosidade de Manning a atribuir, para os leitos principal e de cheia, seria de  $17 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

A inexistência de cheias com período de retorno significativo não permitiu a calibração desses coeficientes de rugosidade.

### **5.3.3. Condições de fronteira**

A modelação da onda de cheia realizada pelo programa HEC-RAS permite a simulação em regime lento e rápido, conduzindo à indicação de diferentes condições de fronteira de montante e de jusante.

As condições de fronteira de montante adotadas pode ser uma das três seguintes opções:

- hidrograma de nível (variação do nível com o tempo);
- hidrograma de cheia (variação do caudal com o tempo);
- hidrograma de nível/caudal (variação do nível e do caudal com o tempo).

Nas simulações efetuadas adotaram-se como condição de fronteira de montante as seguintes:

- Cenário 1 – hidrograma de cheia gerado com o modelo DAMBRK;
- Cenário 2 – caudal constante (escoamento permanente correspondente à capacidade de vazão do descarregador,  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

A condição de fronteira de jusante introduzida foi a altura de água na foz, correspondente a uma preia-mar média.

### 5.3.4. Hidrograma de cheia induzida pela rotura da barragem

O primeiro passo para a definição do hidrograma de cheia provocado pela rotura da barragem é a caracterização da brecha de rotura, a qual depende do tipo de barragem e das causas da rotura. Tendo em consideração o perfil transversal da secção da barragem, considerou-se para o cenário de rotura da barragem a quebra dos três blocos centrais da barragem na sequência do galgamento da mesma, resultando numa abertura retangular de grandes dimensões, com 40 metros de altura por 45 de comprimento.

Tendo em conta o tipo de barragem (betão), considerou-se uma rotura rápida com um tempo de rotura de 0,2 horas ( $t_{\text{rot}}=0,2\text{h}$ ).

No início da simulação considerou-se que a água na albufeira se encontrava ao nível do coroamento (86,00 m).

Com estas condições obteve-se, através do modelo DAMBRK, o hidrograma de cheia induzida apresentado na Figura 5.1.

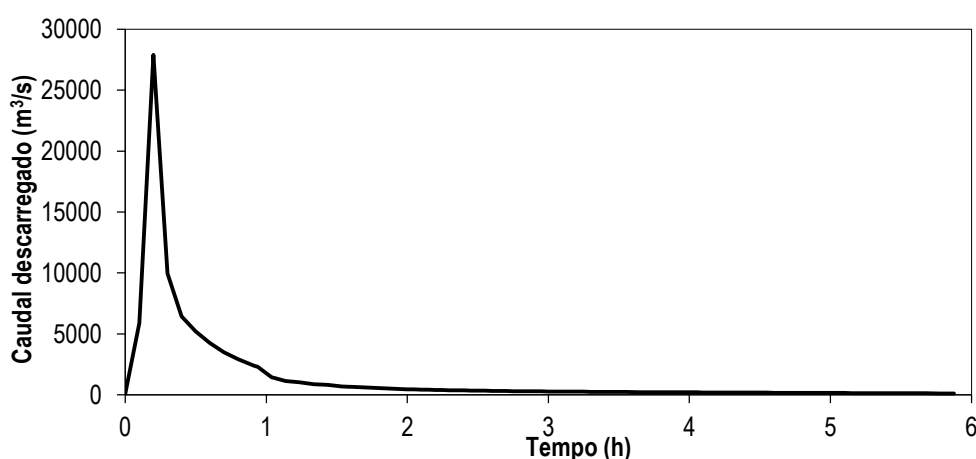


Figura 5.1 – Hidrograma de cheia induzida no cenário de rotura da Barragem da Bravura (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014).

## 5.4 Dados de Saída

A simulação realizada com o programa HEC-RAS permite extrair a informação que é exigida pela legislação de todos os países analisados.

Assim, a informação apresentada adiante teve em consideração a análise realizada no capítulo 4.7, onde foi comparada a informação de saída exigida em cada país. Pretende-se deste modo apresentar uma análise o mais completa possível, utilizando uma metodologia que passa pela apresentação da informação que é solicitada em Portugal, acrescentando as recomendações ou exigências dos restantes países analisados não presentes na legislação portuguesa.

Os dados de saída que serão retirados do programa HEC-RAS, após a simulação para cada cenário de acidente, são:

- Instante de chegada da frente de onda;
- Instante de chegada do pico de onda;
- Nível máximo de cheia;
- Velocidade máxima da onda;
- Altura máxima da onda;
- Caudal máximo atingido;
- Duração da cheia;
- Distância à barragem;
- Hidrograma de cheia.

Esta informação, de acordo com a metodologia utilizada em Espanha, deverá ser apresentada nas secções onde existam povoações, zonas industriais, serviços essenciais ou vias de comunicação.

Para além dos dados de saída da simulação será ainda apresentada a informação exigida pela legislação no Reino Unido, nomeadamente, para toda a zona de inundação, a população total em risco, a probabilidade de perda de vidas, o nível médio de destruição de propriedades (inundações, destruição estrutural parcial ou total) e uma estimativa do valor monetário de danos provocados a terceiros.

A informação resultante da aplicação desta metodologia passaria pela apresentação sobre a forma de quadros para cada secção identificada a vermelho na Figura 5.2, enquanto a caracterização da zona inundável seria representada em mapas à maior escala exigida, isto é, 1:10 000. Na presente dissertação será apresentado apenas um quadro para uma secção (Quadro 5.2), enquanto os mapas serão apresentados em escala ajustada ao formato A4, nomeadamente 1:35.000 e inferior.

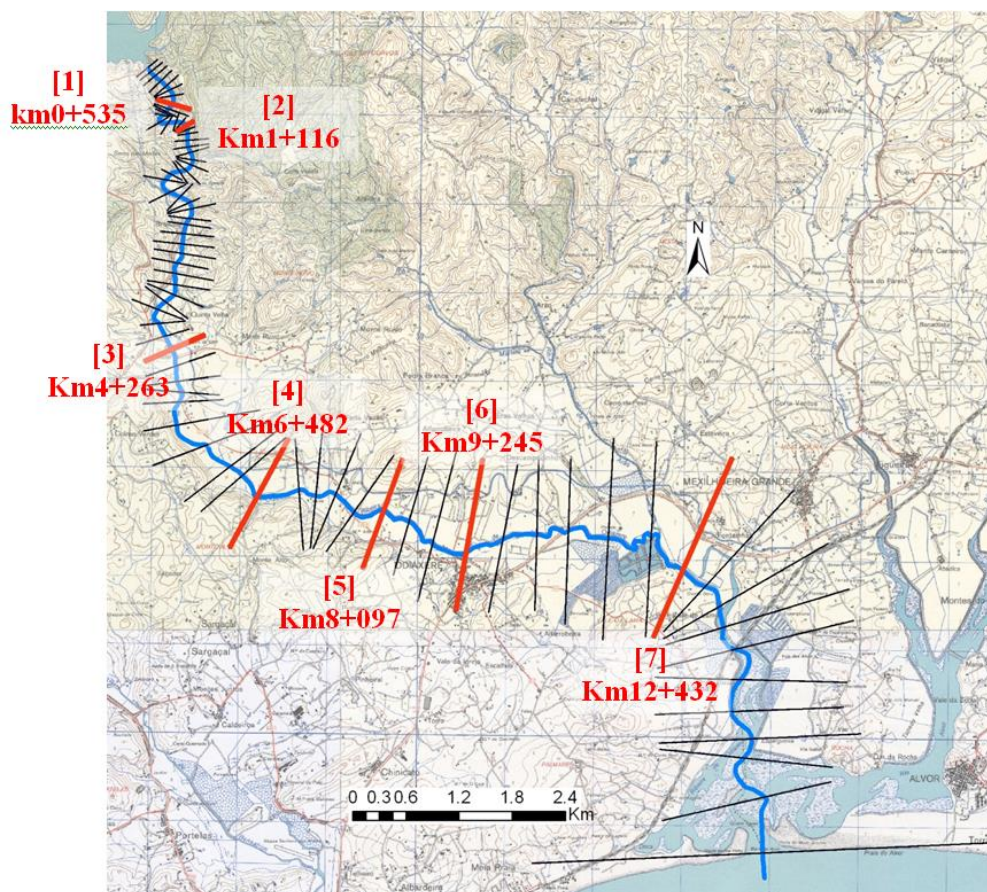


Figura 5.2 – Secções de cálculo com interesse para o estudo (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014).

#### 5.4.1. Cenário 1 – Rotura parcial da barragem

O cenário 1 representa a ocorrência de uma situação extrema caracterizada por uma rotura de grande dimensão da Barragem da Bravura. O hidrograma de cheia induzida por essa rotura foi obtido com o modelo DAMBRK e foi apresentado na Figura 5.1.

A inundação provocada por este cenário é apresentada de duas formas:

- Mapa de inundação com a máxima área inundada;
- Mapas de inundação progressiva com intervalos de 30 minutos, até desaparecer o efeito da inundação.

A apresentação do mapa com a inundação máxima é requerida em Portugal, Reino Unido e França, conforme Figura 5.3.

Em Espanha são requeridos mapas de inundação progressiva, com intervalos de 30 minutos, conforme apresentado nas figuras do Anexo 2.



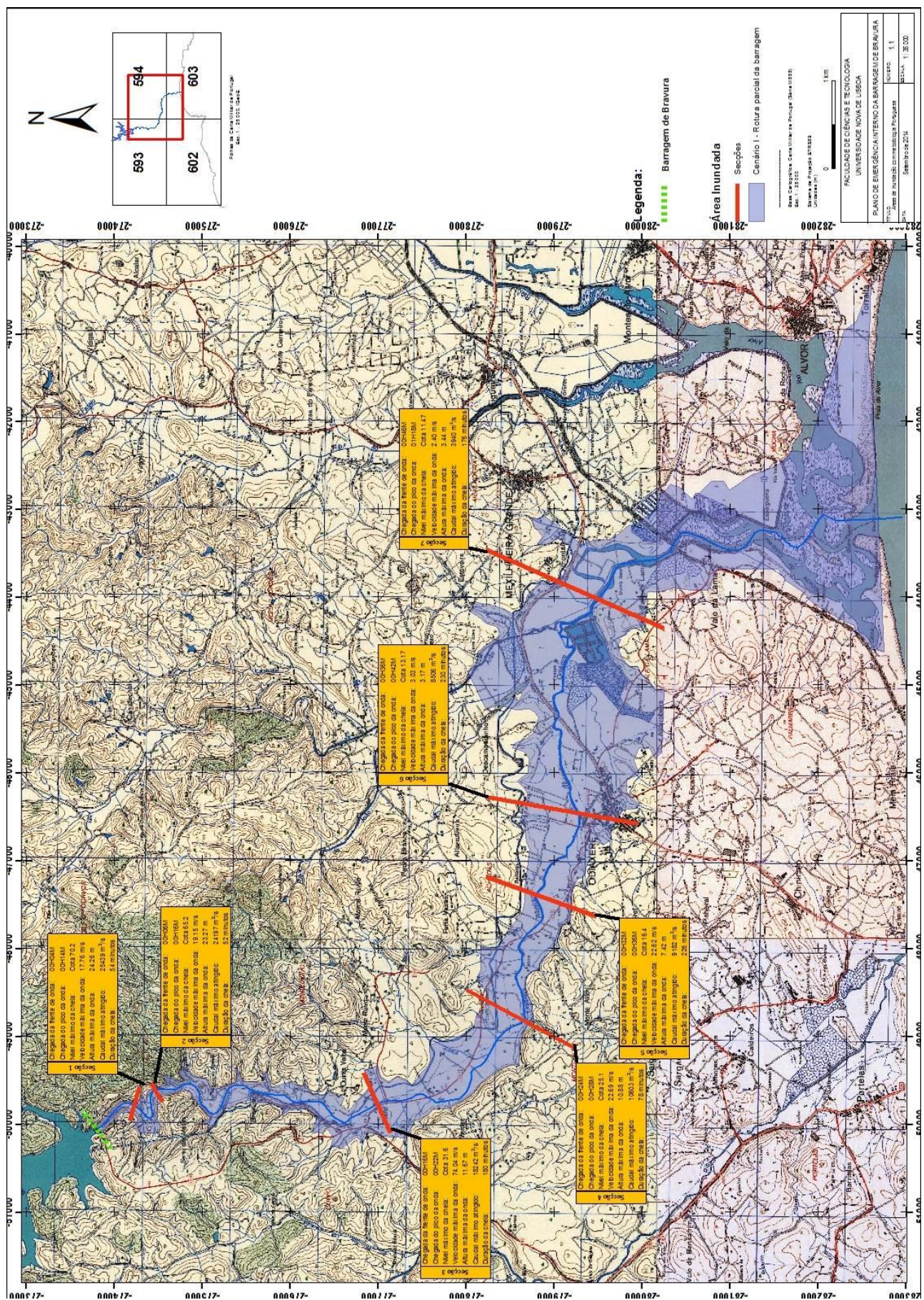


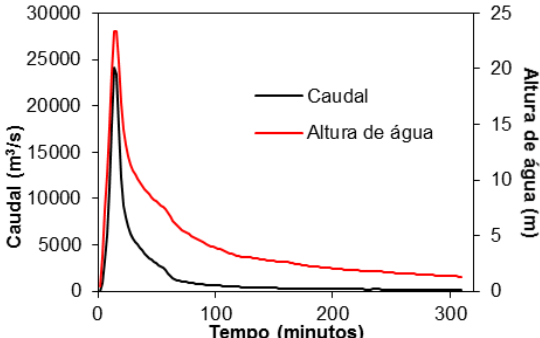
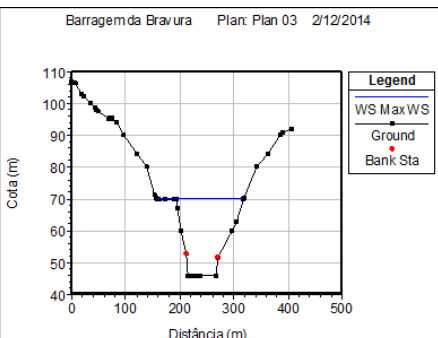
Figura 5.3 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial da Barragem.



Em ambas as situações verifica-se, na área máxima de inundação, que serão atingidas pela onda de inundação casas isoladas localizadas nos primeiros 8 km do vale a jusante, bem como uma parte significativa da localidade de Odiáxere.

Para uma caracterização mais detalhada da inundação é efetuada uma descrição da onda de inundação para as secções de cálculo apresentadas na Figura 5.2. Essas secções são identificadas pela distância à barragem, conforme se exemplifica para a secção 1, no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Características da inundação para várias secções de cálculo (adaptado de PEI Barragem da Bravura, LNEC 2014).

Secção	Distância à barragem	Caracterização Hidrodinâmica da Onda de Inundação	
[1]	km0+535	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chegada da frente de onda:</li> <li>• Chegada do pico da onda:</li> <li>• Nível máximo da cheia:</li> <li>• Velocidade máxima da onda:</li> <li>• Altura máxima da onda:</li> <li>• Caudal máximo atingido:</li> <li>• Duração da cheia:</li> </ul>	00H04M 00H14M Cota 70,2 17,76 m/s 24,26 m 25439 m <sup>3</sup> /s 54 minutos
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>			

### 5.4.2. Cenário 2 – Cheia natural extrema

O cenário 2 corresponde ao evento de aflúências à albufeira que requeiram a capacidade total do descarregador de cheia. As aflúências podem ter origem em situações excecionais, como por exemplo, um evento de precipitação com período de retorno elevado.

Os mapas necessários de apresentar, à semelhança do cenário anterior devem conter a inundação máxima, nos casos de Portugal, Reino Unido e França, e a inundação progressiva com intervalos de 30 minutos no caso de Espanha<sup>10</sup>.

Tendo em conta a curva de vazão do descarregador de cheia, o caudal considerado a montante foi de 21 m<sup>3</sup>/s.

Na Figura 5.4 é apresentado o mapa com a inundação máxima resultante deste cenário. Os quadros apresentados nas várias secções são referentes ao cenário mais desfavorável (cenário de rotura).

<sup>10</sup> Os mapas de inundação com intervalo de 30 minutos para o cenário 2 não serão apresentados no âmbito da presente dissertação, por não apresentar diferenças qualitativas relativamente ao cenário 1.







## 5.5 Cenários adicionais

Conforme referido anteriormente, a metodologia de planeamento de emergência em Espanha, refere a necessidade de analisar quatro cenários de acidente: i) *rotura por galgamento* (equivalente ao Cenário 1); ii) *rotura em dia de sol*; iii) rotura das comportas e iv) rotura encadeada de barragens.

O PEI da Barragem da Bravura, considerando a metodologia espanhola, deveria portanto conter a modelação hidráulica do seguinte cenário, para além dos já analisados nos capítulos anteriores:

- Cenário 3 – *Rotura em dia de sol*;

Os cenários de rotura das comportas e de rotura encadeada de barragens não teriam aplicação no caso da Barragem da Bravura, pelo facto dos órgãos hidráulicos de descarga não funcionarem como comportas e também por não existirem barragens a montante ou jusante.

## 5.6 Definição da área de inundação e do zonamento de risco

A área de inundação abrange principalmente o concelho de Lagos, atingindo também o concelho de Portimão, ainda que com menor intensidade na zona de jusante, uma vez que a Ribeira de Odiáxere desenvolve-se na fronteira entre estes concelhos nos últimos 4 km.

Os mapas de inundação apresentados são complementados com o zonamento de risco, que prioriza as zonas de evacuação e intervenção do dono de obra e proteção civil de acordo com os riscos provocados pela cheia induzida na área de inundação.

O zonamento de risco é realizado com base no tempo de chegada da frente de onda ( $T_{\text{chegada}}$ ). Desta forma, consideraram-se as seguintes:

- $T_{\text{chegada}} < 0,5$  horas (Zona de Auto-Salvamento - ZAS), que corresponde à área em que se considera não existir tempo para alertar as autoridades de proteção civil e o aviso da população deve ser desencadeado pelo dono de obra a partir da barragem, sendo o auto-salvamento da população a medida de segurança mais eficaz a promover;
- $T_{\text{chegada}} > 0,5$  horas, que corresponde a área em que o aviso da população deve ser desencadeado pelas autoridades de Proteção Civil, devendo ser dirigidos para esta zona todos os meios necessários conduzir com sucesso as operações de socorro, nomeadamente, a nível do aviso e da evacuação das populações em risco.

Os sistemas de aviso e alerta devem ser ajustados às características reais da barragem e respetivo vale a jusante, devendo também basear-se na capacidade de resposta das organizações locais de Proteção Civil. Existem outros aspetos a considerar no estabelecimento da ZAS, para além do tempo de chegada da onda de inundação, nomeadamente, a distância para a qual os serviços de proteção civil locais dispõem de tempo de resposta suficiente e o limite de jusante desta zona, que deve coincidir com uma fronteira física bem demarcada no terreno (pontes, por exemplo).

Atendendo aos critérios enunciados, definiu-se, para o caso do vale a jusante da Barragem da Bravura, o seguinte zonamento de risco:

- Zona de Auto-Salvamento (ZAS), que inclui a área de inundação localizada entre a Barragem da Bravura e a secção que dista 6,48 km da barragem (secção [4] na Figura 5.2).



Na publicação de Viseu (2006) é proposta a criação de duas zonas adicionais designadas de Zona de Intervenção Principal (ZIP) e Zona de Intervenção Secundária (ZIS). Estas zonas são classificadas em função do tempo de chegada da cheia induzida e localizam-se a jusante da Zona de Auto-Salvamento conforme esquema que se apresenta na Figura 5.5.



Figura 5.5 – Zonamento de risco no vale a jusante de barragens (adaptado de Viseu, 2006).

Considerando esta metodologia, o zonamento de risco para o vale a jusante da barragem da bravura seria o seguinte:

- Zona de Auto-Salvamento (ZAS), que inclui a área de inundação localizada entre a Barragem da Bravura e a secção que dista 6,48 km da barragem (secção [4] na Figura 5.2).
- Zona de Intervenção Principal (ZIP), que inclui a área de inundação localizada entre a secção [4] e a foz da ribeira de Odiáxere.

A metodologia utilizada no Reino Unido vai mais além no que diz respeito à informação a apresentar no zonamento de risco no vale a jusante da barragem. A informação necessária é apresentada no Quadro 5.3, onde são quantificadas e identificadas as populações atingidas pela onda de inundação bem como as edificações inundadas e os danos provocados no cenário mais desfavorável.

Os dados apresentados, nomeadamente o número de edifícios atingidos foram obtidos através da observação das imagens aéreas com recurso ao *Google Earth*. A população em risco foi calculada através a média de habitantes por edifício disponível nos resultados dos Censos 2011 para o município de Lagos.

No que diz respeito ao número expectável de vítimas, foi utilizada a metodologia desenvolvida por DeKay e McClelland (1993) apresentada no trabalho de Graham em 1998, segundo a qual o número de vítimas tem em consideração para além dos parâmetros de população em risco e tempo de aviso, o grau de destruição dos edifícios.

Assim, no caso onde se prevê que mais de 20% dos edifícios inundados sofram destruição moderada ou total temos a seguinte equação:

$$NEV = \frac{PAR}{1 + 13,227(PAR^{0,440})e^{[2,982t_{avs} - 3,790]}} \quad (1)$$

Nas situações onde menos de 20% dos edifícios da zona inundada sofram destruição, os autores desenvolveram a seguinte equação:

$$NEV = \frac{PAR}{1 + 13,227(PAR^{0,440})e^{0,759t_{avs}}} \quad (2)$$

O tempo de aviso ( $t_{avs}$ ) para efeito do cálculo do número expectável de vítimas é igual ao tempo de chegada de onda. Interessa referir que os instantes iniciais são diferentes, ou seja, o aviso é efetuado

antes da rotura completa da barragem. As unidades são expressas em horas e pode ser calculado com base na velocidade média da onda de cheia e distância a cada uma das povoações em risco.

Quadro 5.3 – Quadro exemplificativo com população e bens atingidos pela onda de inundação no cenário mais desfavorável (metodologia Reino Unido).

Município	Freguesia	Povoação	Edifícios	População em risco (PAR)	Número expectável de vítimas (NEV)	Nível médio de destruição	Estimativa de danos provocados
Lagos	União Freg. Bensafrim e Barão de São João	Bravura	7	12	0	13%	100.000€
Lagos		Cotifo	27	46	1	19%	480.000€
Lagos	Odiáxere	Odiáxere	315	536	19	23%	30.000.000€
Portimão	Mexilhoeira Grande	Fontainhas	14	24	0	18%	264.000€
Portimão	Alvor	Alvor	4	7	0	7%	48.000€

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

### 6.1 Conclusões

Na presente dissertação foram analisadas as metodologias de planeamento de emergência em barragens aplicadas em alguns países da União Europeia e comparadas com a legislação portuguesa, nomeadamente o Regulamento de Segurança em Barragens, anexo ao Decreto-Lei 344/2007.

As semelhanças nas metodologias de planeamento de emergência entre os vários países analisados fazem-se notar desde logo através das entidades envolvidas, cabendo ao Dono de Obra a responsabilidade pela elaboração dos Planos de Emergência Internos, enquanto a aprovação cabe a entidades públicas, normalmente sob tutela do Ministério do Ambiente ou equivalente. Os organismos responsáveis pela Proteção Civil têm que ter conhecimento dos Planos emitindo pareceres sobre os mesmos.

Um dos aspetos que distingue os países analisados é o critério de aplicação dos regulamentos constante nas respetivas legislações. Em Portugal, Espanha e França o regulamento aplica-se ou não em função da altura da barragem e do volume da albufeira, sendo depois feita uma nova distinção para efeito de aplicação dos Planos de Emergência Internos em função do número de pessoas em risco no vale a jusante. No Reino Unido, o critério de aplicação dos regulamentos é unicamente o volume da albufeira. Conclui-se que a legislação em Portugal, neste âmbito, é mais detalhada e obriga a um levantamento e análise do vale a jusante e à realização de uma simulação de uma onda de cheia, mesmo para barragens onde poderá não ser obrigatória a realização de Plano de Emergência Interno.

A estrutura documental dos Planos de Emergência é outro dos aspetos onde se notam diferenças entre os países analisados. Em Portugal existem dois documentos que completam o Planeamento de Emergência, são eles o Plano de Emergência Interno e Plano de Emergência Externo, sendo o primeiro da responsabilidade do Dono de Obra e o segundo da responsabilidade da Proteção Civil. A estrutura do planeamento em França é semelhante.

Em Espanha o Planeamento de Emergência é composto igualmente por 2 documentos, sendo um de âmbito interno, equivalente ao Plano de Emergência Interno português, com o nome Plano de Emergência de Barragens (*Planes de Emergencia de Presas*), e outro de âmbito externo. A aplicação da regulamentação em Espanha, pelo facto do território estar dividido, administrativamente, em Comunidades Autónomas, conduz a que os procedimentos de comunicação em caso de emergência sejam diferentes em função da barragem, obrigando a que, na execução do plano de emergência, sejam analisadas com maior detalhe, comparativamente a Portugal, as entidades a avisar.

No Reino Unido o planeamento de emergência é obrigatório para as barragens com albufeiras de capacidade superior a 25.000 m<sup>3</sup>. O plano de emergência divide-se em três documentos, todos da responsabilidade do dono de obra. A sua interpretação é simples e clara e faz com que o fluxo de informação seja mais célere para além de evitar o fornecimento de informação não relevante a algumas entidades.

No que diz respeito aos cenários de acidente refere-se como principal conclusão o facto da metodologia utilizada em Espanha ser mais exigente comparativamente com os demais países analisados, nomeadamente em termos de quantidade de cenários e de representação de mapas de inundação. Destaca-se ainda o facto se considerar o cenário de rotura encadeada de barragens em Espanha e Reino Unido, enquanto em Portugal ainda não existem procedimentos previstos na legislação para análise de barragens em cascata. Esta condição pode ser considerada uma lacuna quando se analisam alguns dos principais rios no norte de Portugal.

A análise do hidrograma de cheia e onda de inundação são essenciais em todos os países analisados, através da realização da modelação hidrodinâmica para os cenários de rotura considerados em cada país, em diferentes secções transversais do rio. Uma das diferenças existentes entre os vários países analisados tem a ver com a quantidade de cenários de acidente exigidos pela legislação, sendo neste capítulo, Espanha o país onde é exigida a análise de mais cenários.

A caracterização da zona inundada e posterior zonamento do risco, apresenta maior detalhe na metodologia utilizada no Reino Unido.

No que diz respeito aos dados de base para a modelação destaca-se o facto de Portugal e França não especificarem os dados de entrada necessários para o modelo. Fica ao critério dos técnicos responsáveis pela elaboração dos Planos de Emergência Internos a escolha do modelo e respetivos dados de entrada.

A apresentação de mapas de inundações com intervalos de 30 em 30 minutos, previstas na legislação em Espanha, para o caso da Barragem da Bravura são excessivas durante todo o período até passar os efeitos da cheia. A área de inundação a partir dos 120 minutos não apresenta alterações em cada 30 minutos que justifiquem a apresentação com esse intervalo. Seria mais adequada a apresentação de mapas com intervalo de 60 em 60 minutos até passar o efeito da cheia. Admite-se, no entanto, que em situações diferentes, por exemplo, onde a zona a jusante da barragem seja plana, os resultados sejam diferentes.

Em suma, as diferenças no planeamento de emergência entre os países analisados não são em termos quantitativos mas sim qualitativos, no tipo de informação dos planos de emergência e na organização e estrutura dos mesmos. Estas diferenças poderão dever-se ao enquadramento legislativo pré-existente, ao histórico de incidentes, ao clima entre outros aspetos singulares de cada país analisado.

De uma forma geral, o nível de exigência do Reino Unido é superior aos restantes, no entanto em qualquer dos países analisados exige-se um planeamento de emergência detalhado, conciso e de fácil aplicação prática.

Destaca-se o facto de em qualquer dos países não ser referida a necessidade de se estudarem possíveis efeitos nefastos do transporte de sedimentos provocados pela rotura de uma barragem.

Refere-se ainda a importância do desenvolvimento de metodologias de planeamento de emergência comuns na União Europeia aproveitando, por exemplo, a existência de trabalhos já realizados pelo grupo de trabalho europeu da *ICOLD*.

À semelhança do que é realizado nas mais diversas áreas, como por exemplo na qualidade da água e gestão de recursos hídricos, poderão ser desenvolvidas diretivas comunitárias que poderiam fornecer um contributo para a atualização dos regulamentos dos diversos países.

## **6.2 Proposta de trabalhos futuros**

Como proposta de trabalhos futuros, considerando que a grande maioria dos acidentes ocorre nos primeiros anos de vida útil da barragem, e são originados por problemas que poderiam ser evitados caso existisse informação mais detalhada sobre toda a envolvente da barragem, conclui-se que existe ainda um caminho a percorrer nas fases que antecedem a exploração da barragem.

Nesse sentido, como proposta de trabalhos futuros sugere-se uma análise da componente da segurança de barragens, através do estudo e comparação da legislação e metodologias aplicadas em Portugal e outros países na Europa, Brasil e Estados Unidos, nomeadamente no que é exigido e praticado nas fases de projeto e construção.

Dentro do âmbito do trabalho desenvolvido na presente dissertação, sugere-se a análise comparativa das metodologias de planeamento de emergência em países não considerados no presente trabalho.

Analisando a conjuntura de crescimento económico e construção de barragens em países como Brasil e Angola, tendo em consideração o aumento de procura nestes países em desenvolvimento e as necessidades energéticas dos mesmos, sugere-se uma análise dos procedimentos de planeamento de emergência previstos na legislação destes países comparativamente com o que é exigido na legislação Portuguesa.

Importa referir que está em desenvolvimento uma revisão ao Regulamento de Segurança em Barragens em vigor atualmente, que irá contemplar alterações que deverão ser tidas em contas em futuros estudos.



## BIBLIOGRAFIA

---

ANPC; INAG, *Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens*. Lisboa, 2009

ARCEMENT, George J., SCHNEIDER, Verne R., *Roughness Coefficients for Densely Vegetated Flood Plains*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 1987

ASSOCIAÇÃO DE REGANTES E BENEFICIÁRIOS DE CAMPILHAS E ALTO SADO, *Versão preliminar do Plano de Emergência Interno da Barragem do Monte da Rocha*, A.R.B.C.A.S., Setúbal, 2009

BRANDON, E., CRUCHON, P., DEGOUTTE, G., BOIS, P., GUENON, C., KAHAN, J., DELLIOU, P., MONIE, N., RAT, G., *Guide de lecture des études de dangers des barrages*. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'aménagement du territoire, Paris, 2008.

BROWN, A.J., GOSDEN, J., SMITH, F.J., KERSHAW, B., RIDINGS, S., *Engineering guide to emergency planning for UK reservoirs*. Department for Environment Food and Rural Affairs, Londres 2006.

BRUNNER, Gary W., *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, U.S. Corps of Engineers, Davis, California, 2010

CARMO, José Simão Antunes, *Modelação em hidráulica fluvial e ambiente*. Imprensa da Universidade de Coimbra, 2009.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L., *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1988.

COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DE GRANDES BARRAGENS, *Inventário Nacional de Grandes Barragens*, s/d, [http://cnpgb.apambiente.pt/gr\\_barragens/gbportugal/](http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/).

FRANCA, M. J., QUINTELA A., GAMBOA M., CUPIDO C., VIRIATO M., SOUSA J. e FERREIRA, R.M.L., *Internal Emergency action plans for Dams – Application to the Odelouca Earthen Dam*, 6<sup>th</sup> International Conference on Dam Engineering, Lisboa, Fevereiro 2011, eds.: Pina C., Portela E. e Gomes J.P., pp. 465-484.

GRAHAM, Wayne J., *A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure*, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, Setembro 1999

ICOLD EUROPEAN CLUB, *Working group on Safety of existing dams report*. ICOLD, 2012.

ICOLD EUROPEAN CLUB, *Dam Legislation report*, ICOLD, 2013.

KURUNC, A., YUREKLI, K. & OKMAN, C., *Effects of Kilickaya Dam on concentration and load values of water quality constituents in Kelkit Stream in Turkey*. J. Hydrol, 2006.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, *Guia técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas*. Secretaria de Estado de Aguas y Costas. Madrid, 2001.

PARLIAMENT OF THE UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND, *Reservoirs Act 1975*. Majesty's Stationery Office, Londres, 1975.

PARLIAMENT OF THE UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND, *Water Act 2003*. Majesty's Stationery Office, Londres, 2003.

*Regulamento de Segurança de Barragens (RSB, Decreto-Lei 344/2007 de 15 de Outubro de 2007)*

SÁ, Luís, Regulamento de Segurança de Barragens e a Protecção Civil, Autoridade Nacional de Protecção Civil, Lisboa, 2008.

SINGH, Vijay P., *Dam Breach Modeling Technology*. Water Science and Technology Library, Holanda, 1996.

WISEU, T. e ALMEIDA, A.B., *Plano de Emergência Interno de barragens*, 5º Congresso da Água, Lisboa, 25-29 Setembro 2000.

WISEU, T., *Segurança dos Vales a Jusante de Barragens – Metodologias de Apoio de Gestão do Risco*, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

ZHANG, L.M., XU, Y. e JIA, J.S., *Analysis of earth dam failures - A database approach*. First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk, Shanghai, 2007.



## **ANEXOS**

---



## **ANEXO 1 – GRANDES BARRAGENS EM PORTUGAL**

---



## Grandes Barragens em Portugal

Neste anexo faz-se uma apresentação sucinta das características das grandes barragens existentes em Portugal (de acordo com o inventário disponibilizado pela Comissão Nacional de Grandes Barragens). Na figura A1.1 é apresentado o número de grandes barragens existentes por ano de construção. Na figura A1.2 apresentam-se os tipos barragem existentes em Portugal na data do inventário.

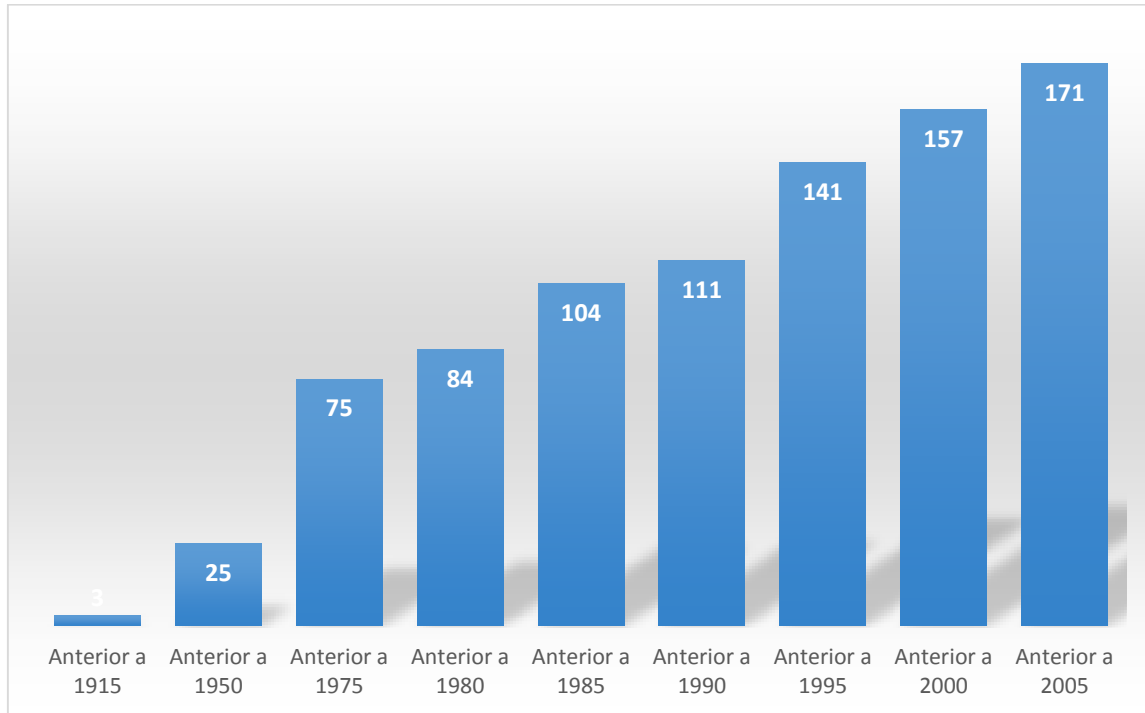


Figura A1.1 – Número de grandes barragens existentes em Portugal por ano.

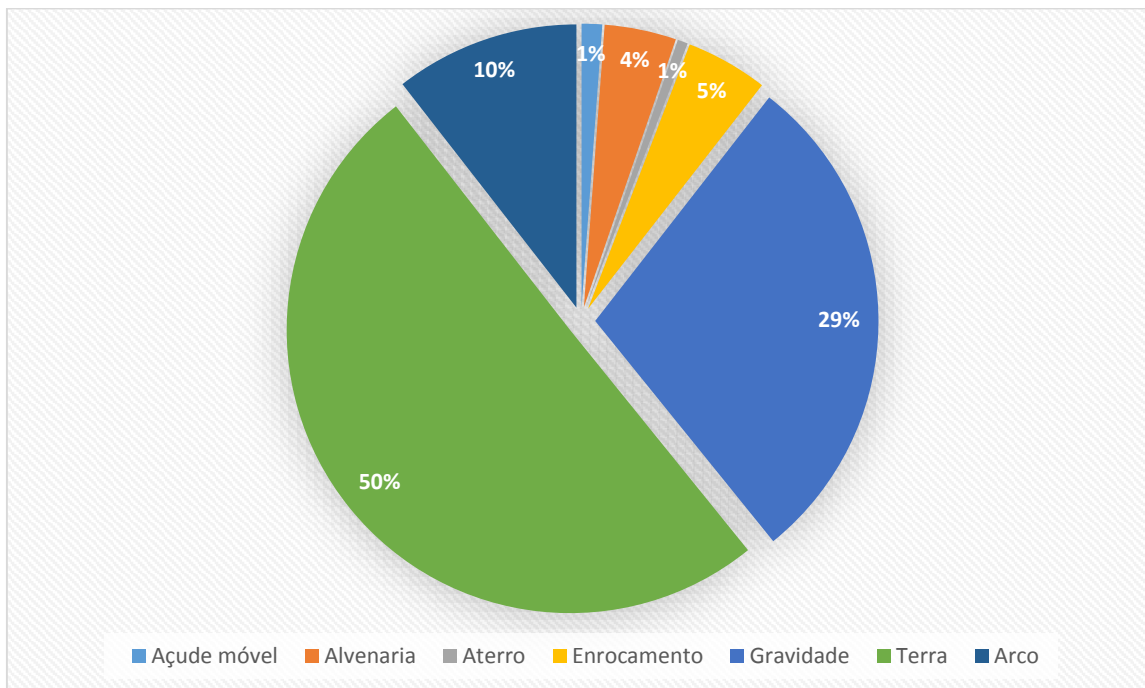


Figura A1.2 – Grandes barragens por tipo em Portugal.

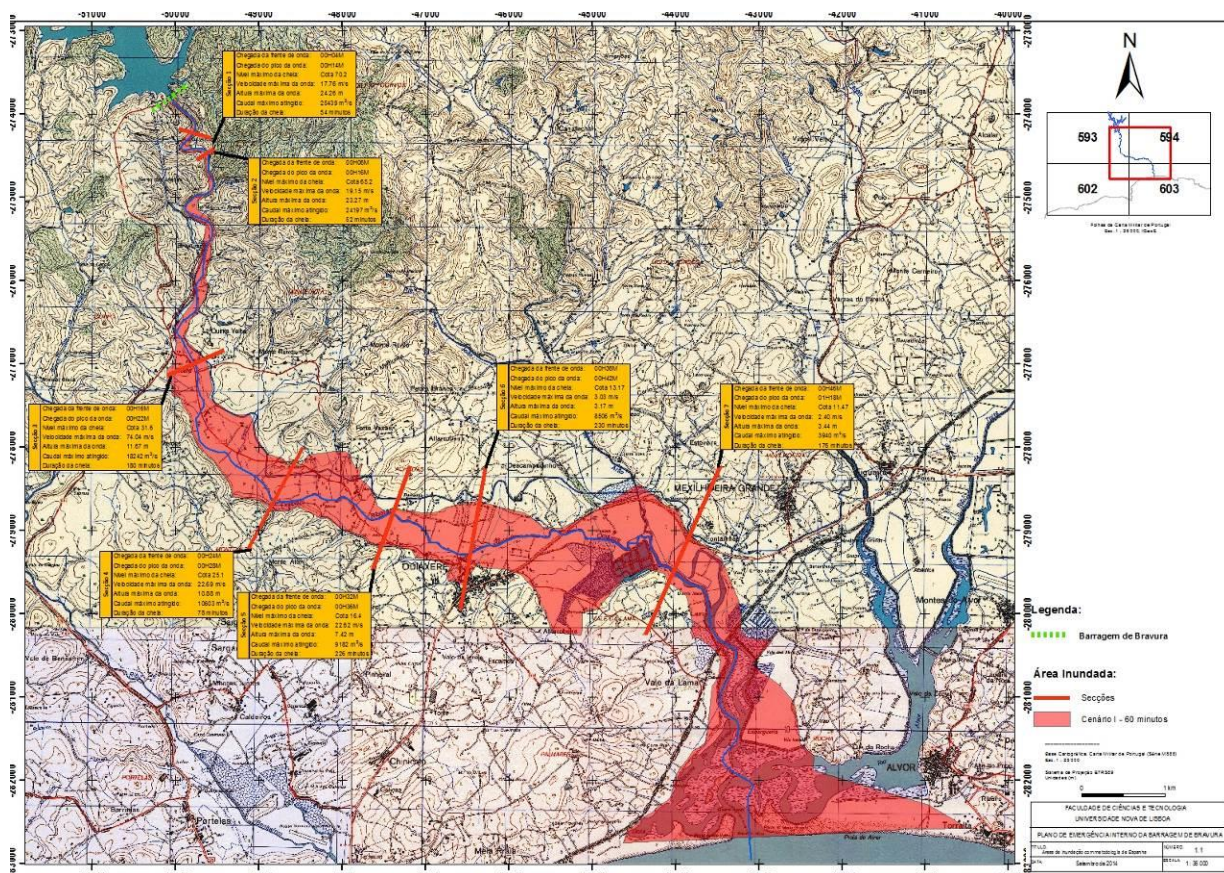
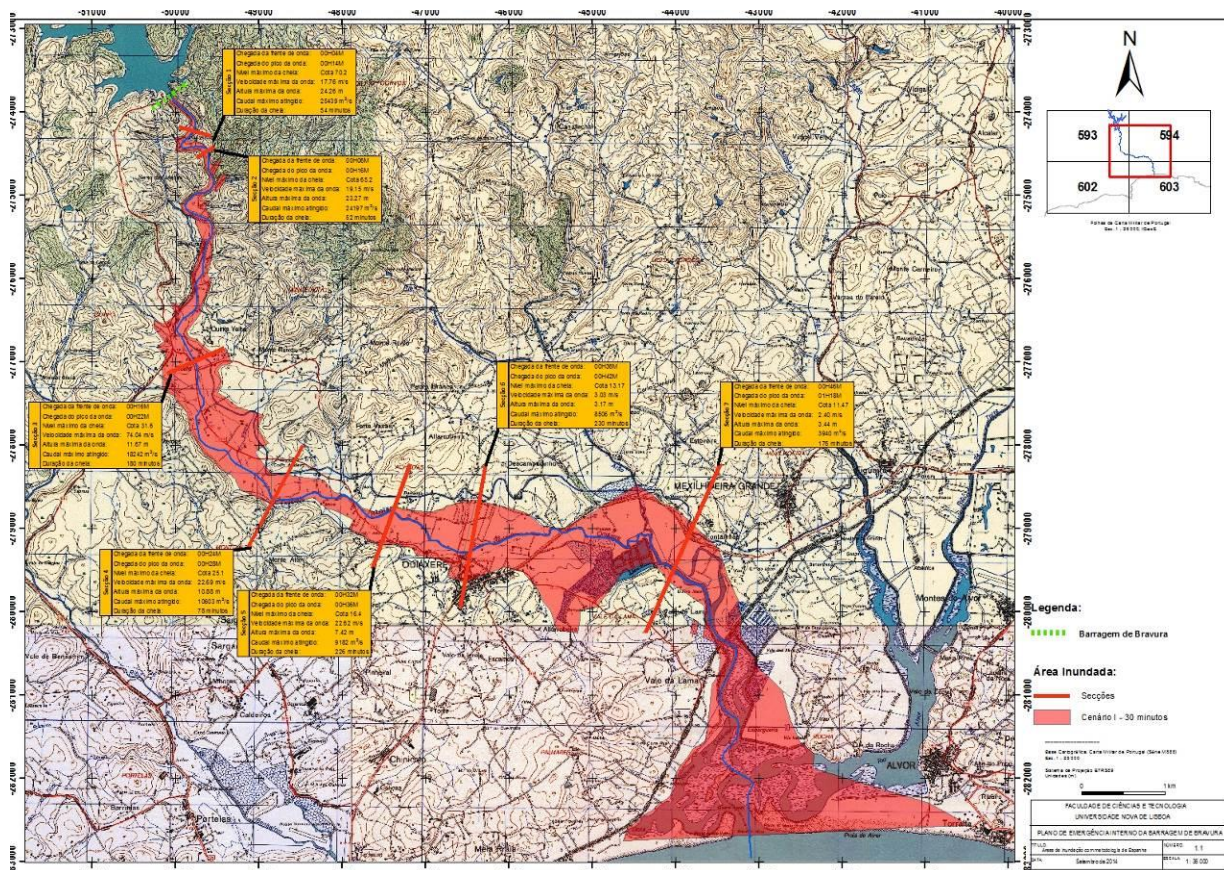


## **ANEXO 2 – MAPAS DE INUNDAÇÃO**

---









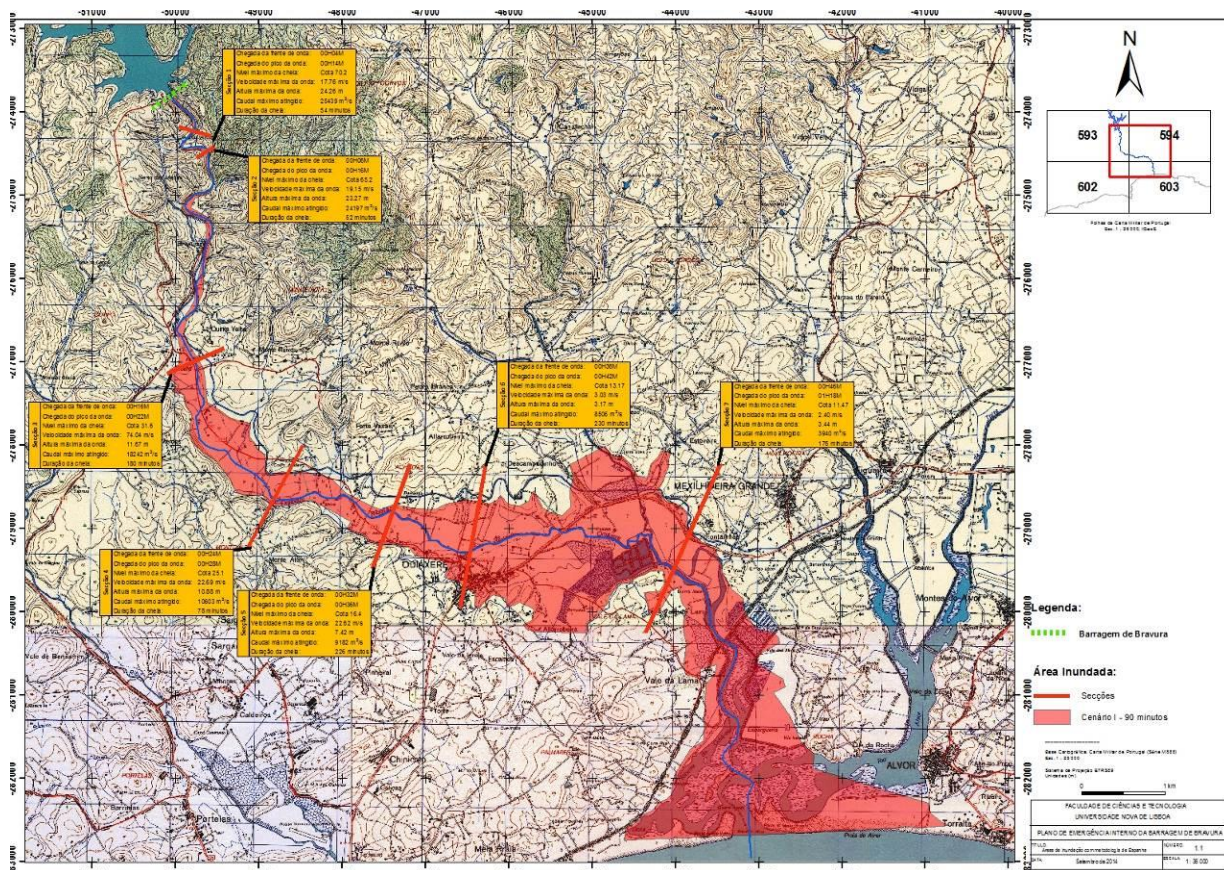


Figura A2.3 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 90 minutos.

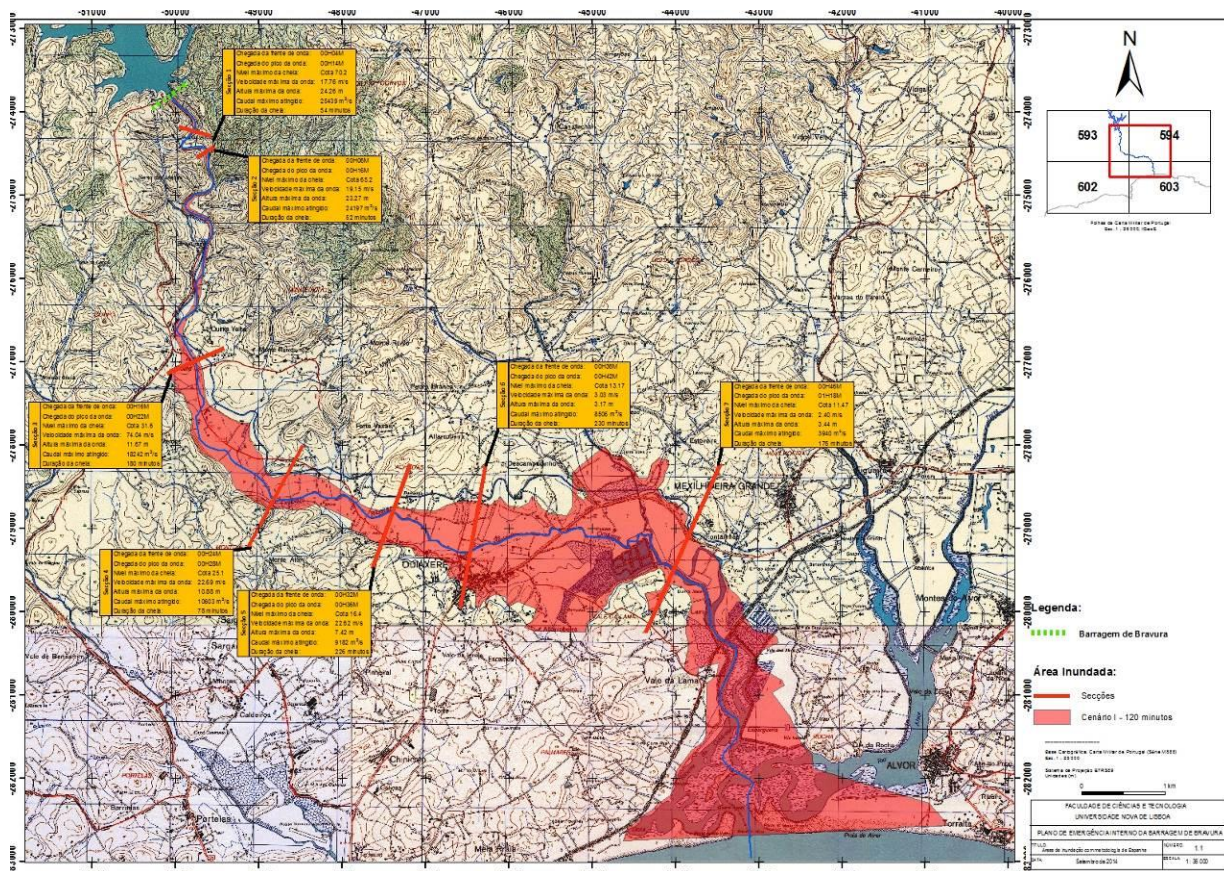


Figura A2.4 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 120 minutos.



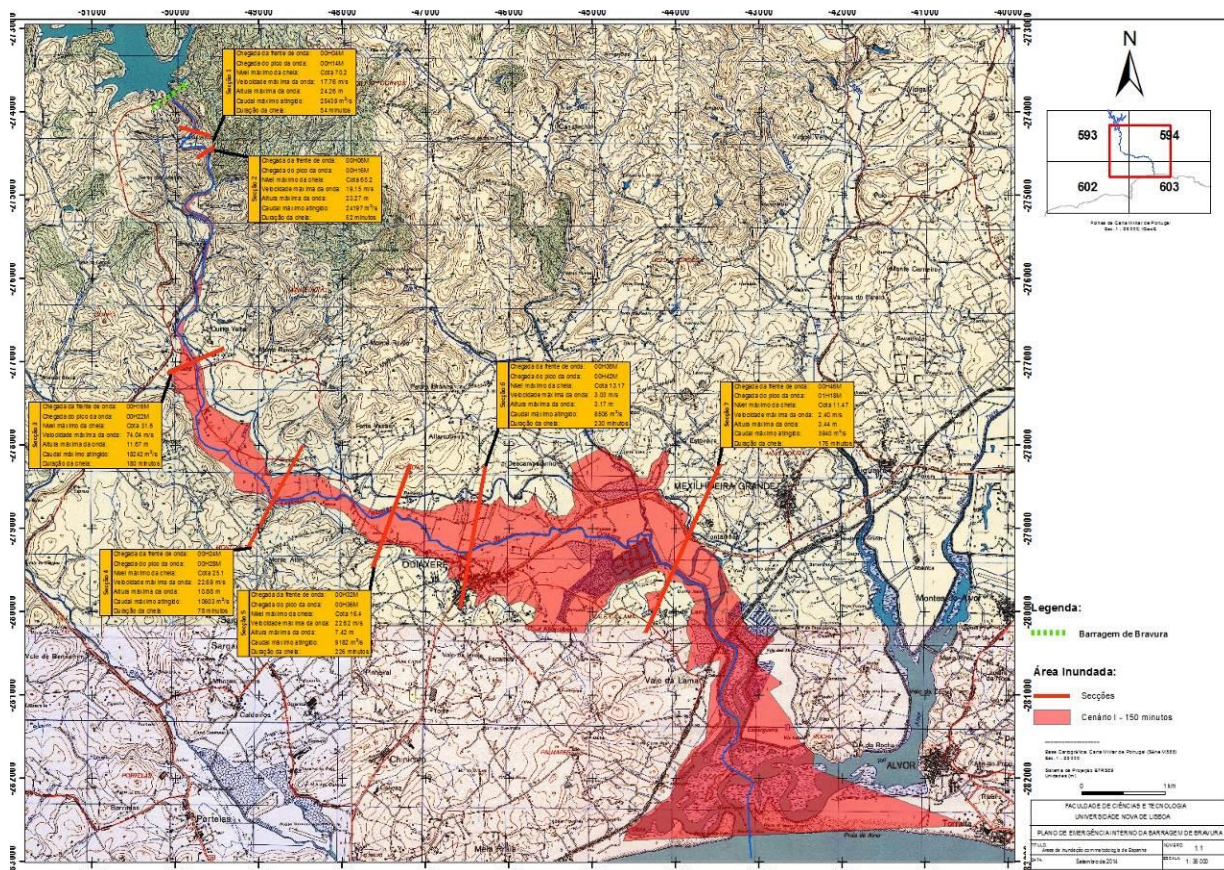


Figura A2.5 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 150 minutos.

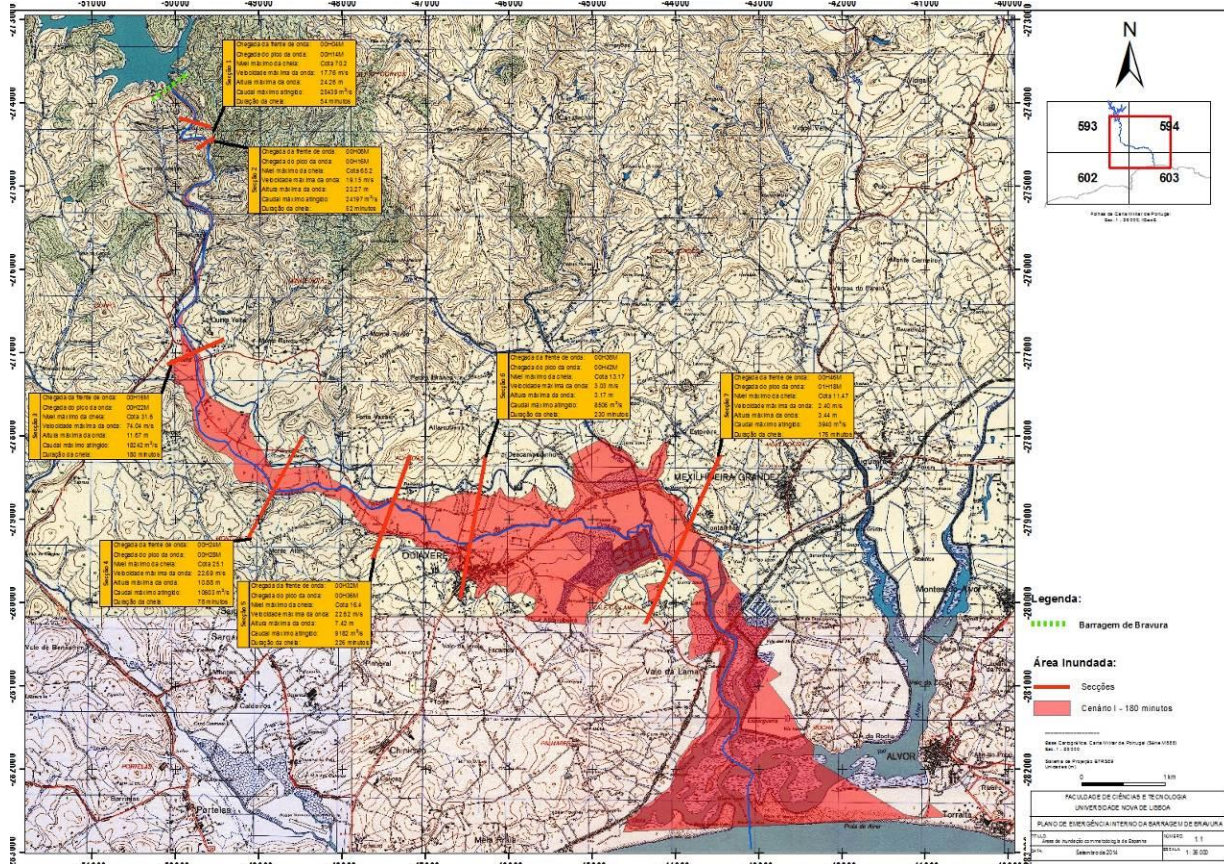


Figura A2.6 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 180 minutos.



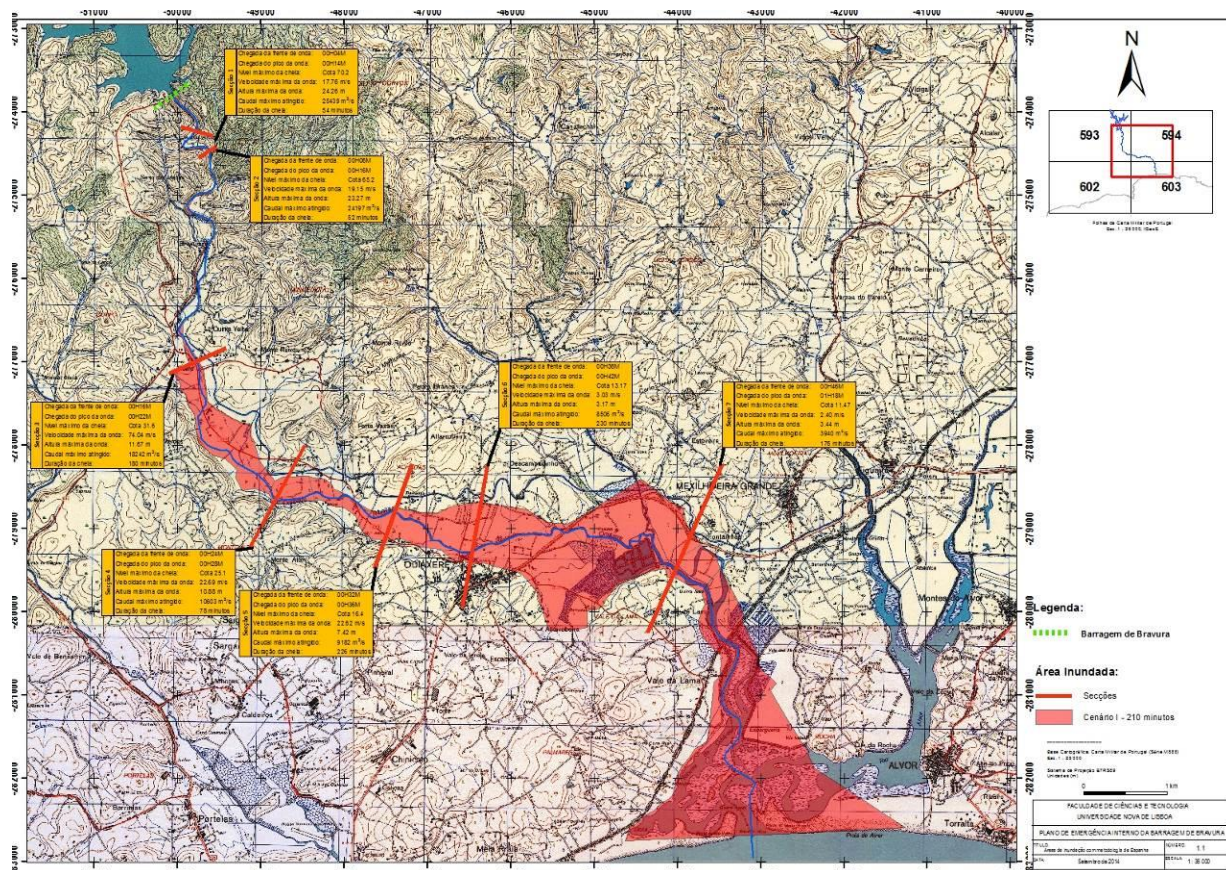


Figura A2.7 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 210 minutos.

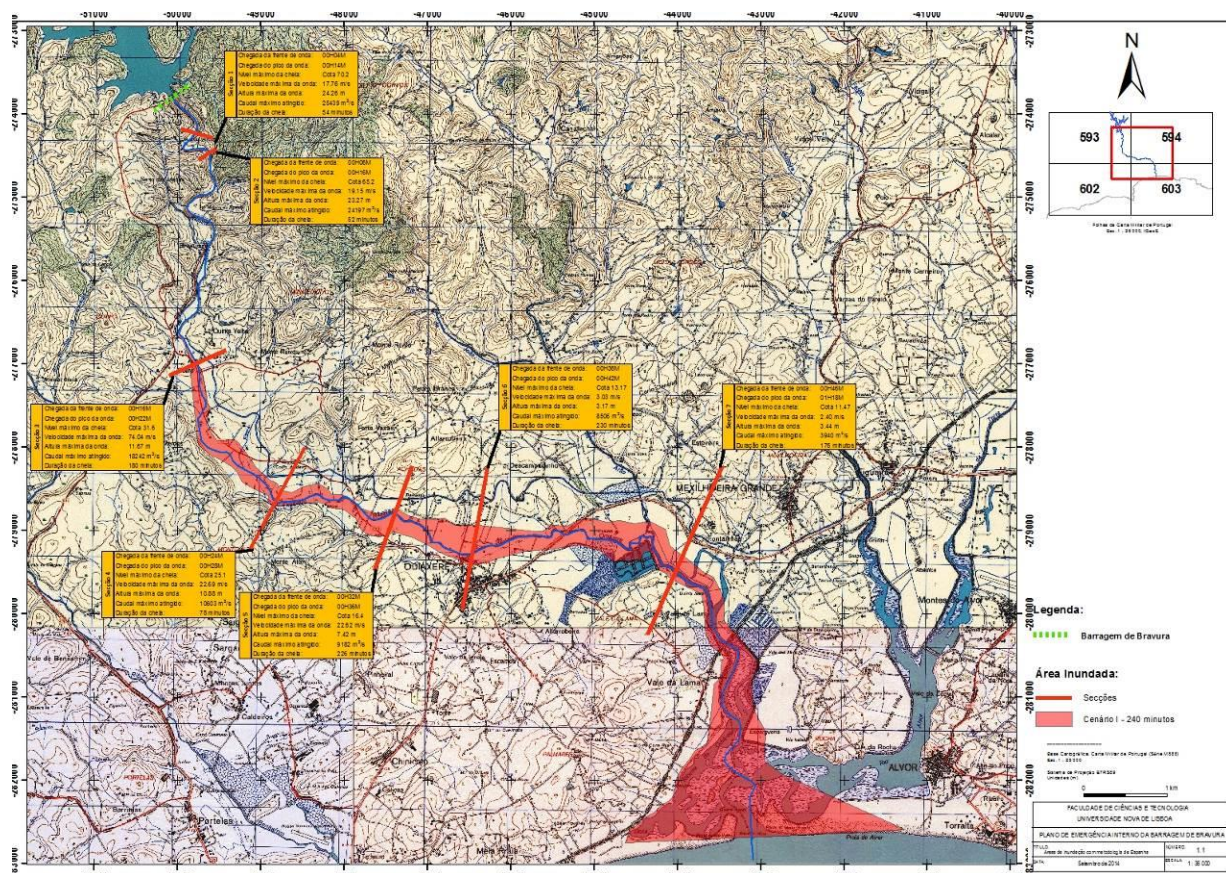


Figura A2.8 – Mapa de Inundação referente ao cenário de rotura parcial após 240 minutos.